

Joscelito de Oliveira Berneira

RESPOSTAS NEUROMUSCULARES E FISIOLÓGICAS ENTRE
PROTOCOLO INTERMITENTE E CONTÍNUO DE FADIGA NO
CICLISMO

Dissertação submetida ao Programa de
Pós Graduação em Educação Física da
Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do Grau de Mestre em
Educação Física

Orientador: Prof. Dr. Fernando
Diefenthaler

Florianópolis

2015

Joscelito de Oliveira Berneira

RESPOSTAS NEUROMUSCULARES E FISIOLÓGICAS ENTRE
PROTOCOLO INTERMITENTE E CONTÍNUO DE FADIGA NO
CICLISMO

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Educação Física

Florianópolis, 12 de Fevereiro de 2015.

Prof. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fernando Diefenthaler
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Marco Aurélio Vaz
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus
queridos pais

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, **Hélio e Isolda**, pelo apoio e incentivo para alcançar os meus objetivos.

A minha namorada **Patrícia**, que sempre me ajudou, demonstrando um grande companheirismo e me incentivando nos momentos mais difíceis.

Ao professor e amigo **Fernando Diefenthaler**, pela confiança, orientação e pela oportunidade de crescimento profissional.

Aos professores, **Ricardo Dantas de Lucas e Cíntia de la Rocha Freitas** pela contribuição na dissertação.

Aos professores da banca examinadora **Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo e Dr. Marco Aurélio Vaz**, por terem aceitado o convite.

Aos colegas do BIOMEC, em especial, ao **Caetano, Luis Antônio, Raphael, Rafael, Aline e Beatriz** e do LAEF, **Naiandra, Vitor, Elisa e Anderson** pela colaboração durante estes anos.

Aos **atletas** que formaram o grupo de estudo.

Obrigado a **Capes** pela bolsa de estudos.

Obrigado a **FAPESC** e ao **CNPQ** pelo financiamento da pesquisa.

Por fim, agradeço todas as pessoas que me ajudaram direta ou indiretamente na conclusão de mais esta etapa acadêmica.

A todos, muito obrigado!

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi investigar e comparar o processo de fadiga em ciclistas e triatletas durante um protocolo específico de ciclismo que simulou situações reais de competição e outro de potência constante. Participaram deste estudo seis atletas competitivos ($26 \pm 3,8$ anos; $74,8 \pm 6,7$ kg; $181,5 \pm 4,0$ cm). No primeiro dia de avaliação foi realizado um teste incremental máximo em cicloergômetro para verificar o consumo máximo de oxigênio, limiares fisiológicos e a potência aeróbia máxima. Nas visitas subsequentes foram realizados testes neuromusculares (contrações voluntárias máximas, contrações induzidas eletricamente, preensão manual), o teste específico de ciclismo (PIC) e o de potência constante (PCC) que acumulou um trabalho total equivalente àquele acumulado durante o PIC. Antes e após os testes de ciclismo foram analisadas: (1) a ativação voluntária (VA), (2) Onda motora (*M-wave*), (3) estímulos elétricos potencializados (4) a ativação muscular dos músculos vasto lateral (VL), reto femoral (RF), cabeça longa do bíceps femoral (5) valor *root mean square* (RMS) normalizado pela *M-wave* ($RMS/M-wave$) (6) força de preensão manual e (7) torque da contração voluntária máxima. Durante a pedalada variáveis fisiológicas (percepção subjetiva de esforço (PSE) e concentração de lactato ([La]) e a *M-wave* também foram verificadas. Foi utilizada a análise de variância (ANOVA two way) para detectar as diferenças e a correlação de Pearson para determinar a relação entre as variáveis nos dois protocolos estudados. O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$ para todos os testes. Os resultados demonstraram uma redução similar no PIC e PPC do torque dos extensores (~ 14 e $10,5\%$, respectivamente) e flexores do joelho (~ 14 e 8% , respectivamente), VA (~ 11 e 10% , respectivamente), nos estímulos elétricos potencializados, na amplitude da *M-wave*, na ativação muscular e na razão $RMS/M-wave$. A força de preensão não apresentou diferença e foi similar entre os protocolos ($p > 0,05$). PSE e [La] foram significativamente maiores durante o PIC. Durante a pedalada a amplitude da *M-wave* do músculo VL foi significativamente maior no 1, 30, 60 min comparado com o 120 min e do músculo RF apenas no 30 min em relação ao 120 min, tanto no PIC como no PPC. Por fim, conclui-se que ocorreu redução similar na produção de força após PIC e PPC. Além disso, as alterações centrais e periféricas responsáveis pela redução da força foram similares nos dois modelos de exercício

Palavras-chaves: Fadiga, Eletroestimulação, Eletromiografia, Desempenho, Ciclismo.

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate and to compare the process of fatigue in cyclists and triathletes during a specific protocol and a protocol with constant power. Six competitive athletes (26 ± 3.8 years; 74.8 ± 6.7 kg; 181.5 ± 4.0 cm) performed in the first day of evaluation a maximal incremental cycle ergometer test to verify the maximum oxygen consumption, physiological thresholds and maximal aerobic power. In subsequent were conducted neuromuscular tests (maximal voluntary contractions, contractions induced electrically and handgrip), the specific cycling (PIC) test and the constant power test. The constant power protocol (PPC) accumulated a total work equivalent to that accumulated during the PIC. Before and after cycling tests were analyzed: (1) maximal voluntary activation (VA), (2) M-wave, (3) electrically evoked contractions (4) root mean square of vastus lateralis (VL), rectus femoris (RF), biceps femoris (5) RMS / M-wave (6) handgrip test (7) maximal voluntary contraction. It was analyzed, perceived exertion (PSE), lactate concentration ([LAC]) and the M-wave during cycling. Analysis of variance (two-way ANOVA) to detect differences in the variables and Pearson's correlation to determine the relationship between the variables in the two protocols. The level of significance was $p < 0.05$ for all tests. The results showed a similar reduction in maximal voluntary contraction of knee extensor muscles in PIC and PPC (~ 14 and 10.5%, respectively) and knee flexors muscles (~ 14 and 8%, respectively), VA (~ 11 and 10%, respectively) electrically evoked contractions, M-wave amplitude, RMS, RMS / M-wave. Handgrip showed no difference and was similar between protocols ($p > 0.05$). PSE and [LAC] were significantly higher during the PEC. During cycling the amplitude of the VL muscle M-wave was significantly higher on 1th, 30th, 60th min compared with 120th min, however, RF muscle M-wave amplitude was higher only 30th compared with 120th min both the PIC and the PPC. It is concluded that there was a similar reduction in maximal voluntary contraction after PIC and PPC. Furthermore, the central and peripheral mechanisms responsible for the reduced strength were similar in both exercise models.

Keywords: Fatigue, Electrical stimulation, Electromyography, Performance, Cycling.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CVM	Contração voluntária máxima
FC	Frequência cardíaca
LL	Limiar de lactato
LAn	Limiar anaeróbio
M-wave	Onda motora
M _{Max}	Máxima amplitude do potencial de ação
OBLA	Início do acúmulo de lactato sanguíneo
P _{MAX}	Potência aeróbia máxima
PPC	Protocolo de potência constante
PSE	Percepção subjetiva de esforço
PEC	Protocolo específico de ciclismo
Pt	Peak twitch torque
PDb100	Estímulos elétricos pareados de alta frequência
PDb10	Estímulos elétricos pareados de baixa frequência
RF	Reto femoral
SENIAM	Surface electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscle Project
SNC	Sistema nervoso central
VA	Ativação voluntária
VL	Vasto lateral
VM	Vasto medial
VO ₂	Consumo de oxigênio
VO ₂ max	Consumo máximo de oxigênio
W	Watts
[La]	Concentração de lactato sanguíneo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Avaliações neuromusculares antes, durante e após pedalada.....	45
Figura 2. Protocolo específico de ciclismo e de potência constante.....	48
Figura 3. Exemplo dos dados de um sujeito antes e após o protocolo de 2 horas.....	52
Figura 4. Contração voluntária máxima dos extensores e flexores do joelho mensuradas pré e pós PIC e PPC.....	53
Figura 5. Ativação voluntária mensurada pré e pós PIC e PPC.....	55
Figura 6. <i>Root mean square</i> do RF, VL e BF mensurada durante o momento pré e pós do protocolo específico de ciclismo e protocolo de carga constante.....	57
Figura 7. Força absoluta de preensão manual mensurada pré e pós PIC e PPC.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Média \pm DP das variáveis fisiológicas obtidas durante o teste incremental máximo.....	51
Tabela 2. Média e desvio padrão da amplitude dos estímulos pareados de alta frequência (PDb100), de baixa frequência (PDb10), do <i>peak twitch torque</i> (Pt) e da razão entre PDb100 e PDb10 (DB10:100) dos músculos extensores do joelho, e as respostas da EMG (<i>M-wave</i>) por meio do Pt dos músculos vasto lateral e reto femoral.....	54
Tabela 3 Média e desvio padrão do valor <i>root mean square</i> (RMS) dos músculos VL e RF normalizado pela máxima amplitude do potencial de ação (M_{MAX}) mensurada antes e após os protocolos específico de ciclismo (PIC) e de carga constante (PCC).....	58
Tabela 4. Comportamento da amplitude e duração da M-wave durante a pedalada do músculo reto femoral e vasto lateral.....	60
Tabela 5. Comportamento individual das [LAC] e PSE durante a pedalada.....	61
Tabela 6. Comportamento individual e médio das potências pico e média durante o PEC.....	62

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Situação problema	21
1.2.1 Objetivo Geral	25
1.2.2 Objetivos específicos	25
1.2.3 Hipóteses	25
1.2.4 Justificativa.....	26
1.2.5 Delimitação do estudo	27
1.2.6 Definição de variáveis	27
2.1 Efeitos da fadiga durante o ciclismo	31
2.2 Fadiga Supra-espinal	35
2.3 Modificações na [La] e PSE durante o ciclismo	37
MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1 Tipo do estudo	39
3.2 Sujeitos do estudo	39
3.3 Instrumentos de medida.....	39
3.3.1 Eletromiografia	39
3.3.2 Estimulação Elétrica	40
3.3.3 Dinamometria.....	40
3.3.4 Variáveis Fisiológicas	40
3.3.5 Percepção de esforço.....	40
3.3.6 Testes de ciclismo	41
3.3.7 Outros Instrumentos	41
3.4 Coleta dos Dados	41
3.4.1 Primeiro dia de avaliação	41
3.4.2 Segundo dia de avaliação	42
3.4.3 Terceiro dia de avaliação	42
3.5 Procedimentos para coleta de dados	42
3.5.1 Eletromiografia	42
3.5.2 Estimulação elétrica	43
3.5.3 Dinamometria.....	46
3.5.4 Variáveis fisiológicas	46
3.5.5 Percepção subjetiva de esforço	46
3.5.6 Testes de ciclismo	47
3.6 Tratamento dos dados.....	49
3.7 Tratamento estatístico.....	49
CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE.....	79
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	81
TERMO DE CONSENTIMENTO	83
PARECER COMITÊ DE ÉTICA.....	85

INTRODUÇÃO

1.1 Situação problema

Diversas áreas das ciências aplicadas ao esporte têm tentado descrever o processo da fadiga, que pode ser definido como uma redução induzida pelo exercício na capacidade funcional dos músculos envolvidos na tarefa de produzir força, ocasionada por um conjunto de efeitos que prejudicam o desempenho, e desenvolve-se logo após o início da atividade (ENOKA; DUCHATEAU, 2008). A fadiga é geralmente classificada como (i) central, que está associada à redução da ativação voluntária devido a falhas na geração e transmissão dos impulsos nervosos (GANDEVIA, 2001; MILLET, 2011) e (ii) periférica (muscular), relacionada a processos metabólicos que levam a redução na capacidade de produção de força (GANDEVIA, 2001).

A complexa interação entre os mecanismos centrais e periféricos no desenvolvimento da fadiga depende não somente do tipo de exercício, mas também da intensidade e duração (ENOKA e STUART, 1992; ENOKA; DUCHATEAU, 2008, JUBEAU et al. 2014). Dessa forma, fica evidente a necessidade de compreender todos os mecanismos envolvidos no processo de fadiga para saber quais as melhores estratégias para minimizar ou retardar a sua instauração.

Para tal, diferentes modelos experimentais têm sido propostos na tentativa de identificar a presença de fadiga central e periférica durante o ciclismo. Dentre estes podemos citar estudos envolvendo protocolos de longa duração (2 a 5 horas) com potência constante (LEPERS et al., 2000; LEPERS et al., 2002; MILLET et al., 2003; JUBEAU et al., 2014), de curta duração (~30 min) com potência variável e constante (LEPERS et al., 2008; THEUREL e LEPERS, 2008), com intensidades máximas (100% consumo máximo de oxigênio) (DIEFENTHAELER et al., 2012) ou com intensidades supramáximas (*Wingate test*) (FERNANDEZ-DEL-OLMO et al., 2013).

Estudos prévios, envolvendo ciclistas e triatletas, têm demonstrado que as evidências de fadiga (central e periférica) variam de acordo com o protocolo do teste (LEPERS et al., 2000; LEPERS et al., 2002; KAY et al., 2001; MILLET et al., 2003; JUBEAU et al., 2014). A fadiga normalmente é analisada pela comparação de variáveis centrais (i.e. ativação voluntária) e periféricas (i.e. picos de torque dos estímulos elétricos na musculatura relaxada, onda motora – *M-wave*) antes e após

exercícios de longa e curta duração (LEPERS et al., 2000, MILLET et al., 2003, LEPERS et al., 2008; THEUREL e LEPERS, 2008, KREMIC et al., 2009). Lepers et al. (2000) avaliaram a fadiga em ciclistas antes e após 2 horas de ciclismo com potência constante de 65% da potência aeróbia máxima (P_{MAX}). Segundo os autores, mudanças nos mecanismos periféricos e na transmissão dos impulsos nervosos foram responsáveis pela perda de força dos músculos vasto lateral e vasto medial. Já Milltet et al. (2003) não encontraram evidências de fadiga central após uma competição de ciclismo de estrada (140 km) utilizando a técnica do *twitch interpolation* para mensurar a ativação voluntária.

Alguns estudos analisaram ainda as respostas do sistema nervoso central (SNC) e muscular a partir da interrupção da atividade durante a realização de um protocolo de ciclismo de longa duração (LEPERS et al., 2002, JUBEAU et al., 2014). Lepers et al. (2002) ao avaliarem ciclistas e triatletas a cada hora de atividade observaram sinais da fadiga ao longo de 5 horas de ciclismo a 55% da P_{MAX} . Segundo os autores, mudanças nos indicadores de fadiga periférica foram observadas logo após a primeira hora de exercício, enquanto os índices relacionados à fadiga central apresentaram alterações significantes somente após 5 horas de pedalada (LEPERS et al. 2002). Outro estudo mais recente, também avaliou os mecanismos de fadiga central e periférica com interrupção do exercício após dois testes de *Wingate* (FERNANDEZ-DEL-OLMO et al., 2013). Os autores analisaram marcadores de fadiga antes, durante a recuperação entre testes e após o segundo teste de *Wingate* e observaram que a redução da produção de força dos músculos extensores do joelho estava associada aos mecanismos periféricos e centrais. Apesar disso, os resultados apontam o mecanismo central como o principal responsável pela redução observada. No entanto, mecanismos responsáveis pela fadiga não foram estudados ao longo de toda pedalada sem interrupção da atividade. De acordo com Jubeau et al. (2014), as análises envolvendo as alterações na função neuromuscular durante atividades, como o ciclismo, devem ser realizadas durante toda pedalada, sem interrupções, para a melhor compreensão dos fatores responsáveis pela fadiga.

Até o presente momento, não foram encontrados estudos envolvendo os efeitos do processo da fadiga na capacidade de geração de força dos músculos dos membros inferiores de ciclistas e triatletas antes, durante e após um protocolo intermitente de ciclismo (PIC) que simule situações de competição e durante um protocolo com potência constante (PPC). Segundo Martin et al. (2001) e Ebert et al. (2005), com exceção das competições de contrarrelógio, as provas de ciclismo de estrada são normalmente de longa duração e com variações de potência. Desta forma,

o comportamento de ciclistas e triatletas em situações próximas da realidade do esporte disponibilizará dados relevantes sobre as propriedades contráteis (i.e. *M-wave*) e neurais (i.e. ativação voluntária) dos músculos envolvidos no movimento da pedalada, bem como de algumas variáveis fisiológicas (i.e. concentração de lactato – [La]). Além disso, a comparação do PIC com o PPC, a partir da potência integrada no tempo (trabalho total) equivalente àquele acumulado durante o PIC, será de extrema importância para verificar as diferenças nas alterações durante os dois modelos de atividade.

Como existe uma carência de estudos que analisem a influência das diferentes formas de fadiga (central, periférica e/ou ambas) ao longo da pedalada, em situações próximas da realidade da competição, com intensidade constante e a utilização concomitante de parâmetros neuromusculares e fisiológicos, formulam-se as seguintes questões a serem investigadas: Quais são as alterações associados à fadiga no PIC e PPC? O PIC resulta em maiores alterações no componente central e periférico em comparação ao PPC? Qual o comportamento da fadiga periférica durante a pedalada no PIC e PPC?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Investigar e comparar o processo de fadiga durante protocolo intermitente de ciclismo (PIC) que simule situações reais de competição e protocolo de potência constante (PPC).

1.2.2 Objetivos específicos

- (1) Verificar e comparar as alterações no pico de torque dos extensores e flexores do joelho de ciclistas e triatletas treinados antes e após PIC e PPC;
- (2) Verificar e comparar a influência da fadiga nos indicadores neuromusculares (ativação voluntária, na amplitude e duração da *M-wave*, nos picos de torque potencializados, *root mean square* – RMS, RMS/*M-wave*,) dos músculos extensores e flexores do joelho antes e após PIC e PPC de ciclistas e triatletas;
- (3) Verificar e comparar a influência da fadiga periférica na amplitude e duração da *M-wave* durante a pedalada de ciclistas e triatletas nos protocolos PIC e PPC.
- (4) Verificar e comparar as alterações na [La], percepção subjetiva de esforço (PSE) de ciclistas e triatletas treinados durante os testes PIC e PPC;
- (5) Verificar e comparar as alterações na força de preensão manual de ciclistas e triatletas treinados antes e após PIC e PCC;

1.2.3 Hipóteses

- H1- Durante o protocolo que simula situações reais de competição (PIC) o pico de torque será reduzido em maior magnitude quando comparado ao PPC;
- H2 - Os indicadores neuromusculares serão alterados em maior magnitude no PIC quando comparados ao PCC;
- H3 - A [La] e PSE serão alterados em maior magnitude no PIC em relação ao PPC.
- H4 – A força de preensão manual não apresentará mudanças significativas em ambos os testes.

1.2.4 Justificativa

Diferentes protocolos parecem produzir diferentes respostas em termos de fadiga. Na maioria das metodologias propostas para a análise do processo de fadiga central e periférica no ciclismo a carga do teste foi (1) constante com duração variando entre 2 e 5 horas (LEPERS et al., 2000; NYBO e SECHER, 2004, LEPERS et al., 2002), (2) variável e constante durante curtos períodos de tempo (~ 30 min) (LEPERS et al. 2008; THEUREL e LEPERS, 2008), (3) constante em intensidades máximas (DIEFENTHAELER et al., 2012) ou supramáximas (FERNANDEZ-DEL-OLMO et al., 2013). Estudos prévios também avaliaram a fadiga durante teste incremental (MACDONALD et al., 2008), o qual leva o atleta a exaustão, mas dificulta separar os efeitos da carga cumulativamente aplicada ao longo do teste e os efeitos da fadiga.

Os protocolos de longa duração dificultam a interpretação dos resultados pré e pós devido ao longo tempo entre o fim do teste e o início da mensuração dos indicadores de fadiga (MILLET et al., 2003, ROSS et al., 2009). Evidências mostram que a função neuromuscular durante exercício intenso em dinamômetro isocinético, por exemplo, recupera dentro do primeiro minuto após o término do exercício, mostrando que estudos prévios podem ter subestimado o nível de fadiga periférica observada (FROYD et al., 2013).

A presença de fadiga muscular seja devido ao comprometimento da ativação dos músculos envolvidos no exercício pelo SNC, pelos músculos ou de ambas, provocam prejuízos no desempenho dos atletas com ampla repercussão no ciclismo, principalmente em provas de longa distância. O entendimento da presença de fadiga em um protocolo que simule uma situação de competição específica possibilitaria traçar estratégias que minimizem as consequências do processo de fadiga (DIEFENTHAELER e VAZ, 2008). O processo de instauração da fadiga muscular é dependente da tarefa realizada, e, de acordo com este princípio, não existe uma única causa da fadiga muscular, sendo que o mecanismo dominante é específico dos processos que são solicitados durante o exercício (ENOKA e STUART, 1992; ENOKA e DUCHATEAU, 2008).

Um dos protocolos proposto no presente estudo pretende simular a fadiga em uma situação real de competição com vários *sprints* de curta duração (15 s) intercalados por períodos de alta potência, porém constantes. De acordo com Martin et al. (2001) e Ebert et al. (2005), com exceção das competições de contrarrelógio, as provas de ciclismo de estrada são normalmente de longa duração e com variações de potência. Vogt et al. (2007) relatam que durante as provas de ciclismo atletas de

elite pedalam a uma potência média de 300 W, alcançando, em vários momentos, picos de potência próximos a 800 W com duração de ~15 a 30 s. Além disso, é possível notar ainda a carência na literatura de estudos que tenham comparado os mecanismos que explicam a fadiga durante um protocolo com potência constante e equivalente ao trabalho total acumulado durante um protocolo específico de ciclismo.

A interpretação de dados em relação à fadiga muscular pode levar a uma melhor compreensão do comportamento dos músculos envolvidos no gesto da pedalada. Tal conhecimento pode levar ao desenvolvimento de novos métodos de treinamento e/ou estratégias de prova, com o objetivo de melhorar o desempenho de um determinado músculo ou grupo muscular, que pode estar agindo como um fator limitante para o desempenho. Essas informações serão compiladas e detalhadas em forma de relatórios individuais, os quais serão entregues aos técnicos e atletas a fim de oferecer suporte ao treinamento.

Sendo assim, esta pesquisa se justifica pela necessidade de avaliar o comportamento de atletas em situações mais próximas da realidade do esporte. Além disso, fornecer informações para que, em conjunto com parâmetros fisiológicos (i.e. [La]) e biomecânicos (i.e. torque voluntário máximo, eletromiografia, estimulação elétrica), os efeitos da fadiga sobre o desempenho sejam compreendidos. Os resultados obtidos por meio das avaliações fisiológicas e neuromusculares fornecerão informações acerca do real estado de treinamento dos atletas, bem como auxiliar técnicos e atletas na elaboração de estratégias para retardar o processo de fadiga durante provas de ciclismo.

1.2.5 Delimitação do estudo

Este estudo se delimitará a investigar o processo de fadiga durante um protocolo de ciclismo que simule situações reais de competição e um protocolo de potência constante, coletadas em situação de laboratório, de ciclistas e triatletas competitivos do estado de Santa Catarina que se apresentarem como voluntários.

1.2.6 Definição de variáveis

Ativação muscular

Conceitual: Representa o nível de ativação elétrica do músculo (DIEFENTHAELER et al., 2012).

Operacional: Neste trabalho será obtida com eletrodos de eletromiografia de superfície. Será computado o valor *root mean square* (RMS) do sinal EMG antes e após a pedalada nos modelos experimentais, obtidos por meio da maior contração voluntária máxima (CVM).

Torque

Conceitual: O efeito rotatório de uma força, quantificado como o produto da força pelo braço de momento. (ENOKA, 2008).

Operacional: Força produzida pela musculatura agonista do movimento, medida em Newton metro. Os valores de pico de torque serão avaliados por um dinamômetro isocinético durante CVM pré e pós-teste.

Ativação voluntária

Conceitual: Resposta eletromiográfica induzida por meio da estimulação elétrica voluntária do nervo periférico para gerar potenciais de ação nos axônios pertencentes aos motoneurônios alfa (ENOKA; STUART, 1992).

Operacional: O nível de ativação voluntária máxima será determinado por meio da técnica do *twitch interpolation* (Merton, 1954), que consiste na comparação da sobreposição de estímulos elétricos durante as CVMs com as respostas de contração induzidas eletricamente com o músculo relaxado.

M-wave (Onda Motora)

Conceitual: Representa a resposta mioelétrica gerada pela estimulação de axônios motores (ENOKA; STUART, 1992).

Operacional: A amplitude e duração da *M-wave* serão determinadas por meio da técnica que consiste em contrações induzidas eletricamente com o músculo relaxado.

Consumo Máximo de Oxigênio (VO_{2max})

Conceitual: Representa a mais alta captação de oxigênio alcançada por um indivíduo, respirando ar atmosférico ao nível do mar (ASTRAND, 1956).

Operacional: Os dados de consumo de oxigênio (VO_2), mensurados respiração a respiração durante o teste incremental máximo a partir do gás expirado, foram reduzidos a média 15 s.

Limiar de lactato (LL)

Conceitual: representa a intensidade de exercício anterior ao aumento exponencial de lactato no sangue, ou seja, o primeiro aumento da produção de lactato em relação ao repouso, porém, em quantidades reduzidas, que podem ser neutralizados e/ou removidos pelo organismo não resultando em acúmulo (WELTMAN et al., 1990).

Operacional: O LL será determinado como a intensidade referente ao momento onde ocorre o primeiro aumento da produção de lactato em relação aos valores basais, identificado a partir do gráfico da concentração de lactato em função do tempo obtido em um teste incremental degrau, com incrementos de 30 W a cada 3 min em bicicleta eletromagnética (WELTMAN et al., 1990).

Limiar Anaeróbio (LAn)

Conceitual: representa a intensidade de exercício correspondente a 3,5 mmol·L⁻¹ de lactato no sangue (HECK et al., 1985).

Operacional: o LAn será determinado por meio de uma interpolação linear entre os valores de lactato e potência, obtidos no teste incremental degrau com incrementos de 30 W a cada 3 min em bicicleta eletromagnética, considerando-se uma concentração fixa de 3,5 mmol·L⁻¹ de lactato sanguíneo (BERG et al., 1990).

Frequência cardíaca (FC)

Conceitual: Uma resposta que é determinada pelo número de batimentos cardíacos por unidade de tempo, geralmente expressa em batimentos por minuto (COYLE et al., 1988).

Operacional: Valor de FC registrado durante o teste máximo. O valor será medido através de um cardiofrequencímetro e expresso em batimentos por minuto.

Concentração de lactato sanguíneo ([La])

Conceitual: Quando o ácido láctico libera H⁺, o componente remanescente une-se com Na⁺ ou K⁺ para formar um sal. A glicólise anaeróbia produz ácido láctico, mas ele é rapidamente dissociado e o sal (lactato) é formado. (DENADAI, 1999).

Operacional: Valor absoluto de concentração de lactato sanguíneo, em uma amostra de 25 µl de sangue do lóbulo da orelha. O valor será medido através de um analisador eletroquímico e expresso em milimoles por litro.

Percepção subjetiva de esforço (PSE)

Conceitual: A tensão fisiológica aumenta de forma linear com a intensidade e a percepção do esforço que pode ser verificada por meio de uma escala (BORG, 1982).

Operacional: Valor absoluto de percepção subjetiva de esforço de um indivíduo obtido durante o protocolo específico e de potência constante de ciclismo, mediante o apontamento em uma escala, de PSE de Borg de 10 pontos (1982).

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Efeitos da fadiga durante o ciclismo

Múltiplos fatores envolvendo tanto o sistema nervoso como o muscular contribuem para o processo da fadiga muscular. Dentre as várias formas utilizadas para analisar esses fatores destaca-se o procedimento que separa a fadiga em duas componentes: central e periférica. Atualmente sabe-se que a fadiga central e periférica são interligadas. O recrutamento de motoneurônios depende da movimentação descendente a partir de sítios supra-espinais e a unidade central é controlada por meio de uma combinação de influências, incluindo reflexos excitatórios e inibitórios (AMANN, 2011).

A evidência de fadiga periférica pode ser demonstrada por meio da redução do torque produzido pela estimulação de nervos periféricos enquanto o músculo está em repouso (*peak twitch*), bem como por meio da amplitude e duração da *M-wave*. (TAYLOR e GANDEVIA, 2008). Um declínio na amplitude da *M-wave* é interpretado como um comprometimento de um ou mais dos processos envolvidos na conversão do potencial de ação do axônio (iniciado pelo estímulo elétrico) em potencial de ação muscular (sarcolema) (ENOKA, 2008). Já a fadiga central pode ser mensurada por um aumento da geração de força provocada pela estimulação elétrica do nervo durante o esforço voluntário máximo, ou seja, por meio de uma sobreposição dos estímulos de contração muscular (TAYLOR; TODD; GANDEVIA, 2006). Se a força extra pode ser gerada pela estimulação do nervo motor durante um esforço voluntário máximo, algumas unidades motoras não foram recrutadas ou não dispararam suficientemente rápido para a produção de contrações no momento da estimulação (HERBERT; GANDEVIA, 1999). Um aumento nesse incremento (contração sobreposta) significa fadiga central e pode ser originada em nível espinal ou supra-espinal.

Outra forma que também tem sido proposta para análise da fadiga muscular é por meio do estudo da variação da amplitude do sinal eletromiográfico (geralmente medida pelo valor RMS) em função do tempo. À medida que ocorre um aumento no número e no tamanho das unidades motoras, recrutadas para a manutenção do nível de força desejado, ocorre um aumento do valor RMS (MORITANI et al., 1986; VAZ et al., 1996; CANDOTTI et al., 2004). Além disso, pode-se avaliar a fadiga central individualmente em cada músculo por meio do valor RMS normalizado pela *M-wave* (RMS/*M-wave*) (Millet et al., 2012). Uma redução no valor RMS sem redução da *M-wave* pode ser

interpretado como fadiga central em nível espinal (LEPERS et al., 2002, MILLET et al., 2012).

A partir das técnicas de avaliação supracitadas, alguns estudos buscaram entender os mecanismos associados à ocorrência da fadiga em diferentes intensidades e duração de exercícios (LEPERS et al., 2000, LEPERS et al., 2002, MILLET et al., 2003, DUC et al., 2005, LEPERS et al., 2008, DIEFENTHAELER et al., 2012, FERNANDEZ-DEL-OLMO et al., 2013.). Durante provas de contrarrelógio (30-40 km), por exemplo, ciclistas administram a potência para evitar exaustão prematura. Esta estratégia resulta na manutenção do nível de força produzida e ativação muscular (DUC et al., 2005). No entanto, no estudo de Bini et al. (2008) foram encontradas diferenças na ativação do músculo vasto lateral ao longo de 40 km de pedalada. Em um estudo envolvendo ciclistas treinados, foi observada uma redução na produção de torque dos músculos extensores do joelho (9%), ~30 min após o término de uma competição de ciclismo de estrada (MILLET et al., 2003). Segundo os autores, a incapacidade na geração de força não ocorreu devido à fadiga central, mas sim a fadiga periférica (fadiga muscular), pois mesmo após percorrerem 140 km os ciclistas avaliados não apresentaram diferença significativa na ativação voluntária (pré - $98,6 \pm 2,2\%$ e pós - $97,2 \pm 4,7\%$).

Lepers et al. (2000) avaliaram ciclistas treinados antes e logo após um teste de ciclismo de 2 horas de duração com potência constante de 65% da P_{MAX} . Os autores observaram redução no pico de torque isométrico (13%), concêntrico a 60 e $120^{\circ} \cdot s^{-1}$ (12 e 15%, respectivamente) e excêntrico a $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ (12%), e na atividade elétrica dos músculos vasto lateral e vasto medial entre os dois momentos avaliados. Outro parâmetro analisado, antes e após o teste, foi o *peak twitch torque* que apresentou diferença significativa ($25,6 \pm 6,6$ e $19,4 \pm 6,9$ N·m, respectivamente). Segundo os mesmos autores, a duração da *M-wave*, utilizada para avaliar a propagação neuromuscular dos potenciais de ação no sarcolema, apresentou um aumento significativo nos músculos avaliados. Já a amplitude da *M-wave* foi menor somente no músculo vasto medial. Os resultados, segundo os autores, indicaram uma situação de fadiga periférica e falha na transmissão dos impulsos nervosos.

Em um estudo similar, porém com 5 horas de duração e potência constante de 55% da P_{MAX} , Lepers et al. (2002) analisaram os efeitos da fadiga muscular, durante e após o teste, no torque, na atividade elétrica, *peak twitch torque* e ativação voluntária de nove ciclistas treinados. Mudanças nos mecanismos periféricos como *peak twitch torque* foram observados a partir da primeira hora de exercício e permaneceram

reduzidas durante as 5 horas de exercícios em comparação aos valores pré ciclismo. A ativação voluntária, indicador de fadiga central, apresentou diferença significativa apenas após 5 horas de teste (pré – 94% e após 5 horas – 86%); porém, os autores sugerem que esse resultado provavelmente ocorreu devido à grande variabilidade inter-sujeitos.

Estudos comparando protocolos de potência constante com protocolos de potência variável (LEPERS et al., 2008; THEUREL; LEPERS, 2008) demonstraram que músculos em processo de fadiga dão início a uma série de eventos que influenciam na sua eficiência e na sua capacidade de geração de força. Os resultados do estudo de Theurel; Lepers (2008) sugerem que ocorre uma maior contribuição dos mecanismos centrais e periféricos no processo de fadiga dos músculos do quadríceps no modelo experimental em que a potência sofreu altas variações ao longo do teste. Os autores compararam 10 ciclistas bem treinados, durante 30 min, em dois tipos de testes: (1) potência constante (70% P_{MAX}), e (2) com períodos e potências alternados (100, 150 e 200% da P_{MAX} durante 20, 15 e 10 s, respectivamente) separados por intervalos de 3 min de duração a 50% da P_{MAX} . Já no estudo de Lepers et al. (2008), que avaliaram e compararam triatletas antes e após exercício de potência constante (75% P_{MAX}) e variável (com a alternância de ± 5 , ± 10 e $\pm 15\%$ do valor referente a intensidade de 75% da P_{MAX}), os autores observaram similar decréscimo na capacidade de gerar força dos músculos do quadríceps sem diferenças em ambos os testes em função das alterações centrais e periféricas.

O decréscimo no desempenho da produção de força dos músculos extensores do joelho de sujeitos fisicamente ativos foi avaliado antes e após dois testes de *Wingate* (FERNANDEZ-DEL-OLMO et al., 2013). Os autores verificaram que a redução na produção de força durante as CVMs foi de aproximadamente 16% em cada teste de *Wingate* e estava associada tanto com fatores periféricos como centrais, embora tenha sido sugerido que os mecanismos centrais foram os principais responsáveis por essa redução.

Ross et al. (2009) analisaram as alterações nas propriedades contráteis musculares, excitabilidade cortical e ativação voluntária dos extensores do joelho de oito ciclistas de *endurance* após 20 provas de ciclismo (média de distância diária: 165 ± 66 km e tempo de prova: 522 ± 111 min) durante 22 dias, simulando a prova do *Tour de France* de 2007. As variáveis foram analisadas nos dias 9 e 17 (dias que não ocorreram os testes) após 18 horas da prova do dia anterior e também dois dias após a última prova. Os autores concluíram que a redução da força dos extensores do joelho foi consequência tanto de processos centrais

como periféricos. A redução de força avaliada 2 dias após o último dia de teste (60 horas de recuperação) não apresentou diferença significativa com os valores pré-teste. No entanto, a ativação voluntária e o impulso cortical apresentaram um déficit significativo comparado com os valores pré. Dessa forma, a partir desses achados, os autores concluíram que a realização de grandes volumes de treinamento sem recuperação adequada ou da participação em eventos consecutivos reduzem a ativação voluntária e o impulso cortical até 60 horas após o exercício. Em outro interessante estudo, Kremic et al. (2009) analisaram alterações neuromusculares em 11 ciclistas ou triatletas bem treinados durante 2 horas de ciclismo. O modelo experimental de 2 horas com intensidade variando entre 65 e 70% VO_2max intercalados com 5 *sprints* de 1 min e um contrarrelógio de 3 km no final do teste. Os autores encontraram que tanto os componentes periféricos como centrais de fadiga foram responsáveis pela redução da força após o teste que buscava simular situações de competição. Os autores avaliaram a fadiga por meio da estimulação periférica magnética, técnica que até então não havia sido utilizada para avaliar a fadiga no ciclismo. Contudo, foi possível observar que as falhas nos mecanismos de ativação central que contribuíram para o comprometimento neuromuscular durante a pedalada foram significativamente importantes para a redução da força dos extensores de joelho. Uma limitação dessa técnica é que a mesma não produz uma estimulação supramáxima, o que pode limitar a mensuração da fadiga periférica.

Decorte et al. (2012) avaliaram 13 indivíduos do sexo masculino moderadamente treinados ($\text{VO}_2\text{max}=59 \pm 9 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) os quais, pedalaram a 80% P_{MAX} durante 6 min, com 4 min de intervalo, continuando assim até a exaustão ou a incapacidade de manter a cadência da pedalada ($\pm 3 \text{ rpm}$). Os sujeitos pedalaram em média $4,5 \pm 1,6$ vezes a 80% P_{MAX} . Os autores analisaram as variáveis para identificar a fadiga periférica (*M-wave* e *peak twitch torque*) e central (ativação voluntária) em todos os intervalos de tempo após os 6 min de pedalada. Foi possível concluir que o *peak twitch torque* apresentou redução a partir de 20% da duração total do exercício. Já a ativação voluntária apresentou diferença significativa somente a 80% e 100% da duração total da pedalada e após 30 min de repouso. Esses dados sugerem que a fadiga periférica se desenvolve mais cedo e que a fadiga central parece estar relacionada com o término da atividade (exaustão).

Jubeau et al. (2014) analisaram sujeitos fisicamente ativos que realizavam entre 3 a 12 horas por semana de atividades aeróbias. Cada sujeito realizou três vezes uma pedalada de 80 min a 45% da P_{MAX}

separadas por 15 min de testes neuromusculares, totalizando 4 horas de atividade. Os autores observaram redução no pico de torque isométrico nos três momentos avaliados após os blocos de 80 min de pedalada. Sendo 13% após 80 min, 20% após 160 min e 25% após 240 min. De acordo com os autores, a amplitude da *M-wave* apresentou uma redução significativa no músculo vasto lateral somente após 160 min de atividade. A ativação voluntária também apresentou diferença significativa em relação aos valores pré-exercício após 160 min de pedalada. O principal objetivo do estudo foi analisar se parte da fadiga central era supra-espinal. Os autores, utilizando a estimulação magnética transcraniana, concluíram que a fadiga supra-espinal ocorreu durante as 4 horas de pedalada.

Por fim, é possível identificar que as diferenças encontradas nos estudos apresentados estão diretamente relacionadas com a duração, intensidade e o tipo de exercício. Na literatura consultada não foram encontrados estudos sobre fadiga neuromuscular em modelo de exercício que simule uma prova de ciclismo de longa duração. Tendo em vista que muitos eventos de *endurance* ocorrem com grandes variações de intensidade, parece interessante verificar o comportamento da fadiga nesse tipo de exercício. Além disso, estes resultados permitem afirmar que são necessários futuros estudos para melhor compreender os mecanismos relacionados à fadiga e ainda comparar com outro protocolo de potência constante.

2.2 *Fadiga Supra-espinal*

Métodos como a técnica do *twitch interpolation* (MERTON, 1954) para mensurar o déficit de ativação voluntária por meio da estimulação do nervo periférico e também a razão do sinal eletromiográfico durante CVM normalizado pela *M-wave* tem sido amplamente utilizados para identificar a fadiga central no ciclismo (LEPERS et al. 2002, MILLET et al. 2003, LEPERS et al. 2008). No entanto, estes parâmetros não identificam se a origem da fadiga central foi supra-espinal ou espinal (MILLET, 2012). Uma hipótese para explicar a fadiga supra-espinal é a hipótese serotoninérgica (PITSILADIS et al., 2002; MEEUSEN et al., 2006), a qual é baseada no aumento do triptofano livre (TRP) (precursor da serotonina) no cérebro durante exercícios prolongados. O aumento do TRP pode ocorrer de duas formas. Em primeiro lugar, pode acontecer devido a menor concentração plasmática de aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA), considerando que estes aminoácidos sejam oxidados para fornecer energia na contração dos

músculos esqueléticos com baixos estoques de glicogênio (MILLET; LEPEERS, 2004). A consequência desta concentração inferior de BCAA é uma concentração mais elevada de triptofano cerebral, já que este aminoácido partilha o mesmo mecanismo de barreira hematoencefálica com os BCAA. A outra forma possível é causada pelo aumento da atividade do sistema simpatoadrenérgico, característico do estresse físico, a fim de estimular a lipólise (GANDEVIA, 2001).

A maior disponibilidade de ácidos graxos liberados à corrente sanguínea leva ao aumento da proteína carreadora albumina no músculo em atividade, fazendo com que esta libere triptofano, o qual também tem função de transporte. O aumento da porção de TRP gera vantagem na barreira hematoencefálica em relação aos outros aminoácidos, resultando no seu maior influxo ao cérebro e, conseqüentemente, na maior produção de serotonina. Assim a atividade da serotonina é aumentada pela duração do exercício, dificultando a ativação das áreas motoras cerebrais e a excitação muscular, bem como ao aumento do esforço percebido. Embora existam estudos que investigam os mecanismos associados à fadiga utilizando medidas relacionadas com o sistema muscular e fisiológico, as respostas bioquímicas do TRP que são reguladas pelo sistema nervoso central também podem servir para melhor compreensão dos mecanismos de fadiga.

Como a fadiga supra-espinal pode ser induzida por alterações nas concentrações de neurotransmissores, tais como a serotonina, no cérebro (NYBO; SECHER, 2004), presume-se que o efeito da fadiga será “global” e se manifestará durante qualquer contração muscular (ROSS et al., 2010). Estudos recentes investigaram se a redução de força muscular nos membros não envolvidos com o exercício estaria relacionada com a fadiga supra-espinal (i.e. força de preensão manual) (MILLET et al. 2003; ROSS et al. 2010). A hipótese dos pesquisadores de que ocorreria redução significativa de força dos membros superiores, não envolvidos na atividade, não aconteceu. No entanto, segundo Millet e Lepers (2004), mesmo não acontecendo mudanças na força dos membros não envolvidos no exercício, não é possível concluir que não ocorreu fadiga supra-espinal, porque a fadiga supra-espinal seletiva pode ter acontecido. Segundo Ross et al. (2010), a força de preensão manual não foi alterada durante e após 20 km de corrida. No entanto, os autores sugerem que um tipo de fadiga supra-espinal que é seletiva e específica para o músculo utilizado na atividade pode ter ocorrido.

Na literatura consultada não foram encontrados estudos avaliando os aspectos bioquímicos (TRP) relacionados à fadiga em modelos de exercícios intermitentes e contínuos de longa duração durante

o ciclismo. Desta forma, são necessários futuros estudos para melhor compreender os mecanismos relacionados à fadiga e verificar se existe uma relação entre esses indicadores bioquímicos e a fadiga supra-espinal. Além disso, verificar se a análise da dinamometria do membro não envolvido na tarefa apresenta algum padrão de comportamento contribuiria para o entendimento da fadiga.

2.3 Modificações na [La] e PSE durante o ciclismo

Um dos fatores mais importantes que limitam o desempenho no esporte é a fadiga muscular. A fadiga durante o ciclismo é considerada um processo complexo que envolve vários fatores fisiológicos, biomecânicos e psicológicos. (ABBISS & LAURSEN, 2005). Diferentes são os métodos de identificação destes mecanismos de instalação de fadiga muscular, sendo valorizada a utilização de procedimentos não invasivos nos estudos que envolvem seres humanos submetidos ao exercício.

Estudos prévios sugerem uma relação de causalidade entre a [La] e a fadiga periférica (Sidhu et al., 2009) e que a redução no *peak twitch torque* pode resultar das alterações do acoplamento excitação-contracção devido ao acúmulo de metabólitos durante o exercício. Alguns estudos têm avaliado a [La] durante protocolos de longa duração com potência constante (LEPERS et al., 2000; JUBEAU et al., 2014), de curta duração com potência variável e constante (THEUREL e LEPERS, 2008), com intensidades supramáximas (FERNANDEZ-DEL-OLMO et al., 2013). Lepers et al. (2000) avaliaram a [La] em ciclistas e encontraram um aumento significativo da [La], ao longo de uma pedalada de 2 horas com intensidade de 65% da P_{MAX} , em relação aos valores pré exercício. Os resultados do estudo de Theurel; Lepers (2008) sugerem que, em dois tipos de testes: (1) potência constante (70% P_{MAX}), e (2) com períodos e potências alternados (100, 150 e 200% da P_{MAX} durante 20, 15 e 10 s, respectivamente) separados por intervalos de 3 min de duração a 50% da P_{MAX} , no final da pedalada com variação de potência e tempo a [La] foi significativamente maior que o de potência constante. Outro estudo analisando os mecanismos de fadiga durante dois testes de *Wingate* avaliou a [La] e os resultados demonstraram que a [La] aumentou significativamente após o primeiro *Wingate* e permaneceu maior 1 min antes do segundo *Wingate* em comparação com os valores medidos antes pré-exercício (FERNANDEZ-DEL-OLMO et al., 2013). Os mesmos autores verificaram que após o segundo teste de *Wingate* a [La] atingiu valores maiores dos que medidos antes do primeiro e segundo teste de

ciclismo (FERNANDEZ-DEL-OLMO et al., 2013). Por outro lado, Jubeau et al. (2014) avaliaram sujeitos ativos fisicamente que realizaram três vezes uma pedalada de 80 min a 45% da P_{MAX} , totalizando 4 horas de exercício, e observaram que não houve alterações significativas na [La] ao longo das 4 horas de ciclismo. Desta forma é possível perceber que as alterações na [La] estão diretamente relacionadas com a intensidade do exercício.

Alguns pesquisadores (NOAKES; ST CLAIR GIBSON, 2004; ABBISS; LAURSEN, 2005; BELTRAMI et al., 2012) sugerem que a fadiga não é puramente física e sim uma sensação consciente de uma interpretação dos processos de regulação do subconsciente no cérebro. Segundo Jubeau et al. (2014) a consciência da percepção de esforço pode ser construída dentro das áreas do cérebro que são responsáveis pelo planejamento e controle de movimentos (i.e. área frontal e pré-frontal). Considerando que a fadiga é multifatorial, existe a necessidade de compreender todos os mecanismos do processo de fadiga. Sendo assim, a percepção subjetiva de esforço também tem sido verificada durante os estudos de fadiga no ciclismo. Baseado em dados da literatura, percebe-se que independente da intensidade e duração das atividades a percepção subjetiva de esforço aumenta (LEPERS et al., 2008, THEUREL e LEPERS, 2008, JUBEAU et al., 2014). É possível perceber também que a PSE foi diferente em estudos que compararam protocolos de potência constante e variável (LEPERS et al., 2008, THEUREL e LEPERS, 2008), os quais, demonstraram uma maior PSE nos testes de ciclismo com potência variável.

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Tipo do estudo

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada quanto à natureza. Segundo Gil (2010), a pesquisa aplicada possui como objetivo gerar conhecimentos para a aplicação prática e dirigida para solucionar problemas específicos. Quanto à abordagem do problema deste trabalho define-se como quantitativa. A pesquisa quantitativa considera que os dados serão quantificados para serem classificados e analisados (GIL, 2010). Em relação aos objetivos propostos, a pesquisa caracteriza-se como sendo descritiva. De acordo com Thomas; Nelson (2002), o estudo descritivo tem o objetivo de descrever algo, um evento, um fenômeno ou um fato. Já em relação aos procedimentos técnicos, a presente pesquisa classifica-se como empírica do tipo descritiva. A pesquisa empírica é a mais abrangente e trabalha com a descrição e explicação de experiências concretas colhidas da realidade (ALEXANDRE, 2009).

3.2 Sujeitos do estudo

A seleção dos sujeitos foi do tipo intencional não probabilística e foi composta por quatro ciclistas e dois triatletas treinados do sexo masculino que participam de competições regionais, nacionais e internacionais. Os participantes do estudo não se afastaram dos treinos por lesão nos seis meses antecedentes à data da coleta e, além disso, durante os dois meses anteriores à coleta de dados, estavam realizando no mínimo uma média de 200 km e 300 km de ciclismo por semana, para triatletas e ciclistas respectivamente.

3.3 Instrumentos de medida

Os instrumentos que foram utilizados nas avaliações são apresentados abaixo:

3.3.1 Eletromiografia

Para a aquisição dos sinais eletromiográficos foi utilizado um sistema de eletromiografia de superfície *Miotool 800 Wireless* (Miotec Equipamentos Biomédicos Ltda., Porto Alegre, Brasil) com oito canais e mais dois sistemas *Miotool 400* (Miotec Equipamentos Biomédicos Ltda., Porto Alegre, Brasil), ambos com modo de rejeição comum com taxa de 126 dB e uma impedância de entrada de 10 GΩ. Cada canal foi acoplado a sensores diferenciais de superfície, conectados a eletrodos passivos descartáveis de superfície (Kendal Meditrace - 100; Ag/AgCl; diâmetro

de 20 mm, distância inter-eletrodos de 22 mm), em configuração bipolar, com frequência de amostragem de 2000 Hz por canal.

3.3.2 Estimulação Elétrica

Contrações induzidas eletricamente foram realizadas por meio de um estimulador elétrico modelo *Digitimer DS7AH* (Digitimer, Hertfordshire, UK) de corrente constante, máximo de 1 A, e alta tensão (máximo de 400 V). O estimulador elétrico também foi acionado por um dispositivo externo gerador de estímulos duplos modelo *DG2A Train/Delay Generator* (Digitimer, Hertfordshire, UK). Dois eletrodos autoadesivos de estimulação de superfície, com configuração de 50 cm² (10 x 5 cm) retangular (Compex SA, Ecublens, Suíça), foram acoplados aos cabos condutores de tensão modelo *D185-HB4* (Compex SA, Ecublens, Suíça).

3.3.3 Dinamometria

Para a mensuração das contrações isométricas voluntárias no membro inferior preferido dos ciclistas e triatletas foi utilizado um dinamômetro isocinético *Biodex System 4* (Shirley Corporation, Nova Iorque, EUA). Além disso, foi avaliada a força de preensão manual do membro superior dominante por meio de um dinamômetro hidráulico (Saehan Corp[®], Korea, Coreia) com resolução de 0,1 kg e limite de carga de 136 kg.

3.3.4 Variáveis Fisiológicas

O consumo de oxigênio (VO₂) foi mensurado por meio de ergoespirometria de circuito aberto, usando um analisador de gases modelo *Quark PFTergo* (COSMED SRL, Roma, Itália); a frequência cardíaca (FC) usando um frequencímetro *Polar S610* (Polar Electro Oy, Finlândia); os limiares de lactato foram obtidos por meio do sangue coletado do lóbulo da orelha com capilares heparinizados, armazenados em microtubos de polietileno com tampa tipo Eppendorff - de 1,5 mL, contendo 50 uL de solução de NaF 1% e analisados por intermédio de um analisador bioquímico (YSI 2700, modelo Stat Select).

3.3.5 Percepção de esforço

Para determinação da percepção de esforço ao longo do teste foi utilizada a escala de Borg de 10 pontos (BORG, 1982).

3.3.6 Testes de ciclismo

Um cicloergômetro eletromagnético *Excalibur Sport* (Lode Medical Technology, Groningen, Holanda) para gerar a sobrecarga mecânica para o teste (potência) e controlar a cadência de pedalada, foi utilizado durante os três testes.

3.3.7 Outros Instrumentos

Os registros de temperatura e umidade relativa do ar foram monitorados durante os testes com um termômetro/higrômetro digital (Vacumed®).

3.4 Coleta dos Dados

Os sujeitos foram instruídos a chegarem ao laboratório de esforço físico da UFSC (LAEF), hidratados e alimentados, sendo que, além disso, foi recomendado para não realizarem treinamentos de alta intensidade e alto volume e intensos 48 horas antes dos testes. Antes do teste foram fornecidas informações detalhadas a respeito dos procedimentos e objetivos do mesmo. Todos os indivíduos assinaram um termo de consentimento concordando com sua participação voluntária na pesquisa, cientes de que poderiam abandonar os testes a qualquer momento, se assim desejassem. O estudo foi aprovado pelo comitê local de ética em pesquisa com seres humanos (Protocolo número 144.432). Os atletas foram avaliados em três dias distintos, com no mínimo 96 horas de intervalo entre os dias de testes.

3.4.1 Primeiro dia de avaliação

No primeiro dia de avaliação foi realizado um teste incremental máximo no cicloergômetro para determinação do VO_2max , limiares de lactato e P_{MAX} . Além disso, foi realizada uma familiarização com os testes neuromusculares, após 15 min do término do teste incremental máximo, nos equipamentos de avaliação neuromuscular (dinamômetro isocinético e estimulador elétrico). Durante a familiarização os sujeitos realizaram contrações voluntárias máximas (CVMs) e submáximas dos músculos extensores do joelho. As CVMs foram realizadas com e sem os estímulos elétricos. Logo após as CVMs foram realizados estímulos elétricos na musculatura relaxada. Familiarização com os estímulos durante a pedalada também foi realizada. Os sujeitos foram instruídos a pedalar realizando força somente com a perna esquerda. Assim que a ativação elétrica da perna direita reduzisse para valores próximos da musculatura relaxada os estímulos elétricos foram realizados. A familiarização com os

testes foi realizada até o momento que os sujeitos fossem capazes de realizar as avaliações de forma consistente.

3.4.2 Segundo dia de avaliação

Os atletas realizaram os testes neuromusculares para identificar as variáveis relacionadas à fadiga central (ativação voluntária) e periférica [amplitude e duração da *M-wave*, estímulos elétricos duplos de alta frequência 100Hz (PDb100) com intervalo entre eles de 10ms, estímulos elétricos duplos de baixa frequência 10Hz (PDb10)] com intervalo de 100 ms entre eles e *peak twitch torque*. Além disso, o pico de torque dos músculos extensores do joelho e a força de preensão manual, o PIC e por fim as mesmas avaliações neuromusculares pré-teste foram realizadas nesse dia.

3.4.3 Terceiro dia de avaliação

No último dia de avaliação os sujeitos executaram os mesmos testes neuromusculares do segundo dia de avaliação. Logo após, os testes neuromusculares, foi realizado o PPC. Após o PPC, as avaliações neuromusculares pré-teste foram repetidas.

3.5 Procedimentos para coleta de dados

3.5.1 Eletromiografia

A atividade elétrica de três músculos do membro inferior direito dos atletas foi registrada nos testes PIC e o PPC. Os seguintes músculos foram monitorados durante os testes: (1) reto femoral (RF), (2) vasto lateral (VL), (3) bíceps femoral (BF). Anteriormente à colocação dos eletrodos, a impedância elétrica da pele foi reduzida ($<5\text{ k}\Omega$), mediante a tricotomia e a limpeza da pele com álcool, a fim de remover as células mortas e a oleosidade da pele no local do posicionamento dos eletrodos. Em seguida, pares de eletrodos autoadesivos de superfície e na configuração bipolar foram fixados nos músculos avaliados, alinhados de acordo com a orientação das fibras musculares, e o eletrodo de referência (terra) foi colocado na patela. Todos os procedimentos sobre o local de posicionamento dos eletrodos, de preparação da pele e dos sujeitos seguiram as recomendações do *Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles Project* -SENIAM (DELUCA, 1997; MERLETTI, 1997).

3.5.2 Estimulação elétrica

Estímulos elétricos de 200 μ s de duração foram realizados por meio de um estimulador elétrico de corrente constante. Dois eletrodos autoadesivos de estimulação de superfície foram colocados sobre a pele, após raspagem dos pelos e limpeza da pele. Para avaliação dos músculos extensores do joelho direito os eletrodos foram colocados da seguinte maneira: (a) sobre o triângulo femoral (eletrodo cátodo de forma circular com 0,5 cm de diâmetro), (b) sobre o glúteo máximo, oposto ao cátodo, eletrodo ânodo de 50 cm² (10 x 5 cm) retangular. A intensidade de estimulação ideal foi determinada por meio de estímulos elétricos na musculatura relaxada. Foi considerada como intensidade ótima quando um aumento na estimulação (amperagem) não induziu um aumento adicional no torque dos músculos dos extensores do joelho e na amplitude pico a pico da *M-wave* (M_{MAX}). Um acréscimo de 20% na intensidade ótima (amperagem) foi utilizado para garantir estímulos supramáximos. A intensidade ótima de estimulação do PIC e PPC foi de $26 \pm 7,8$ mA, $27,5 \pm 7,2$ mA, respectivamente

Os estímulos elétricos foram realizados: i) durante as CVMs (estímulos duplos pareados de alta frequência 100 Hz (Figura 1), ii) 3 s após CVMs no músculo relaxado por meio de estímulos de alta (PDb100) e baixa frequência (PDb10) e *twitchs*, todos separados por um intervalo de 3 s (Figura 1). O nível de ativação voluntária foi analisado por meio da técnica do *twitch interpolation* usando os estímulos duplos sobrepostos nas CVMs e potencializados na musculatura relaxada 3 s após as CVMs (PDb100). O nível de ativação voluntária foi determinado de acordo com a seguinte formula:

$$VAL(\%) = \left[1 - \left(\frac{\text{Superimposed doublet amplitude}}{\text{potentiated doublet amplitude}} \right) \right] \times 100$$

Equação 1

Durante a pedalada contrações induzidas eletricamente também foram realizadas para avaliar a *M-wave* em determinados momentos da pedalada. Os estímulos foram realizados em intervalos de tempo de 15 min do 1º ao 121º min. Para a realização dos estímulos a potência do teste era reduzida para 50% da potência do primeiro limiar de lactato e era solicitado aos atletas que mantivessem a pedalada apenas com a perna esquerda. Um sensor acoplado no cicloergômetro detectava a passagem do pedivela na posição de 90º do ciclo da pedalada durante a fase de propulsão (0-180º). Dessa forma, o pesquisador acionava o estimulador

elétrico quando a perna direita apresentasse o mínimo de torque, registrado por meio de um par de pedivelas instrumentados acoplados ao software LEM - *Lode Ergometry Manager* (Lode Medical Technology, Groningen, Holanda), e ativação elétrica. Três estímulos foram realizados em cada intervalo de tempo, sendo que, esses foram separados por dois ciclos de pedalada (Figura 3).

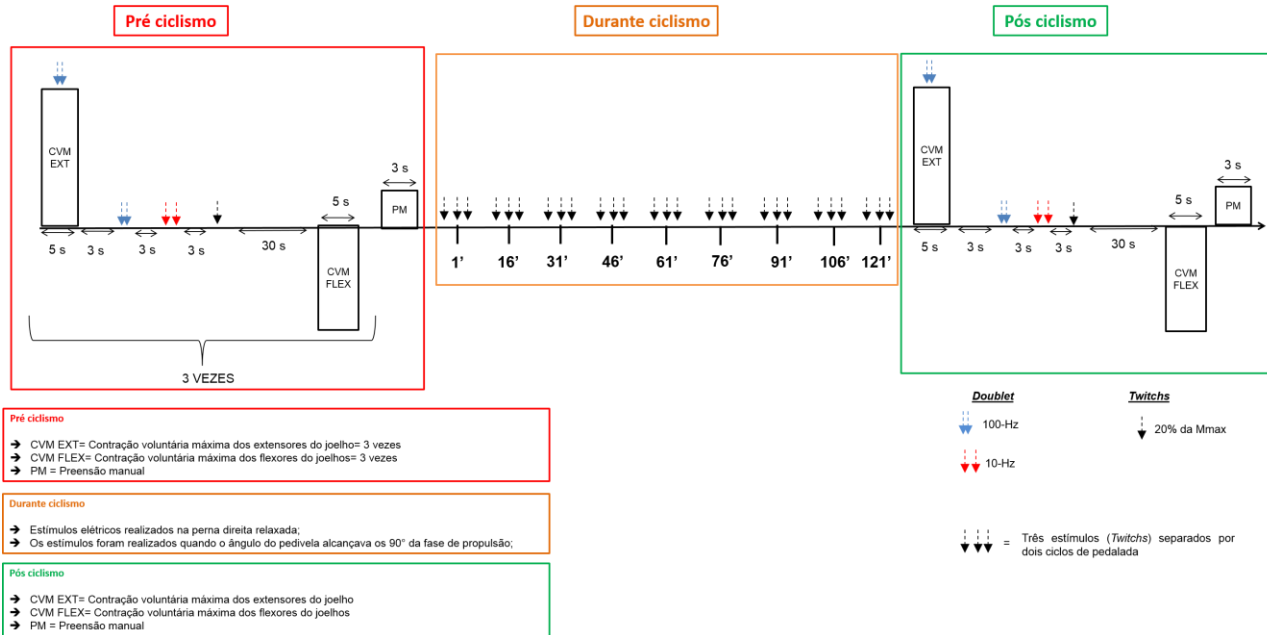


Figura 1. Avaliações neuromusculares antes, durante e após pedalada. As avaliações pré e pós pedalada consistiram em CVMs com estímulos duplos pareados de alta frequência 100 Hz, 3 s após CVMs estímulos elétricos no músculo relaxado de alta (PDb100) e baixa frequência (PDb10). Durante a pedalada foram realizados estímulos elétricos em intervalos de 15 min do 1° ao 121° min

3.5.3 *Dinamometria*

Os participantes do estudo realizaram CVMs dos músculos extensores e flexores do joelho (membro direito), estendendo e flexionando contra o braço do dinamômetro por 5 s o mais forte possível (Figura 1). Os sujeitos sentaram na cadeira do dinamômetro e foram ajustados para que o ângulo do joelho e do quadril dos sujeitos fosse fixado a 90° (extensão completa = 180°). Além disso, foram utilizadas as cintas de estabilização do equipamento para que os atletas não movimentassem o tronco e o quadril.

Cada participante realizou três CVMs até que o pico de torque isométrico dos extensores do joelho não ultrapasse 5% de diferença (THEUREL e LEPERS, 2008). Um intervalo de 60 s entre as CVMs foi adotado. O mesmo procedimento experimental foi realizado apenas uma vez imediatamente após os testes de ciclismo. Foi utilizada a CVM que produziu o maior valor de torque para análise, e também para o cálculo do valor RMS, durante 1 s do platô de força.

Com relação à força de preensão manual os atletas executaram três CVMs, após os testes neuromusculares dos membros inferiores, antes e após o PIC e PPC, com duração de 3 s e o intervalo entre elas foi de aproximadamente 30 s. O braço e o antebraço dos atletas formavam um ângulo relativo de 90°. Além disso, era solicitado aos sujeitos que deixassem o braço um pouco afastado do tronco. Os sujeitos receberam incentivo verbal para realizar o máximo de desempenho durante cada CVM.

3.5.4 *Variáveis fisiológicas*

As informações de $\text{VO}_{2\text{max}}$, [La] e FC durante o teste incremental foram registradas. O $\text{VO}_{2\text{max}}$ foi mensurado respiração a respiração durante todo teste a partir do gás expirado, sendo os dados reduzidos à média de 15 s ao final de cada estágio de 3 min. O VO_2 foi considerado como o maior valor obtido durante o teste nesses intervalos de 15 s. Para a mensuração da [La] foram coletadas amostras sanguíneas no repouso, ao final de cada estágio de 3 min e ao término do teste. Os limiares de lactato foram identificados utilizando o método de Berg et al. (1990). A FC foi monitorada durante todo o teste pelo frequencímetro incorporado ao analisador de gases, permitindo o registro e o armazenamento a cada batimento.

3.5.5 *Percepção subjetiva de esforço*

Para determinação da PSE durante o PIC e o PPC, foi solicitado ao atleta que apontasse na escala de Borg a sua percepção de esforço durante os intervalos de tempo (14', 28', 43', 58', 73', 88', 103', 118').

3.5.6 Testes de ciclismo

Foi utilizado um protocolo incremental do tipo degrau com incrementos de 30 W / 3 min em uma bicicleta eletromagnética (ROSSATO et al., 2008). A P_{MAX} foi definida como a maior potência completada por 3 min. Quando a potência do último estágio não foi completada, a P_{MAX} foi determinada segundo o método de Kuipers et al. (1985). O teste de ciclismo, PIC, proposto no presente estudo teve como objetivo simular a fadiga em uma situação real de competição. O teste começou com um período curto (2 min) com a potência correspondente a 50% do primeiro limiar de lactato, em seguida o teste passou para um período longo com potência alta e constante (13 min de duração a 95% do segundo limiar de lactato) seguido por um *sprint* de curta duração (15 s). Após o *sprint* o teste foi constituído por períodos curtos com potência baixa e constante (2 min de duração a 50% da potência do primeiro limiar de lactato) e (3 min de duração na potência do primeiro limiar de lactato), períodos mais extensos com potência alta e constante (10 min de duração a 95% do segundo limiar de lactato) intercalados com *sprints* de curta duração (15 s) (Figura 2A). A cadência de pedalada adotada durante o PIC foi a preferida do atleta.

O PPC teve como objetivo analisar a fadiga em um protocolo com potência constante (Figura 2B). A potência integrada no tempo representou o trabalho total equivalente àquele acumulado durante o PIC (Equação 2). A potência do PPC foi calculada individualmente, utilizando o *software MATLAB* versão 7.5 (MathWorks Inc., Natick, MA, EUA), por meio dos dados de potência registrados durante o PIC utilizando a equação:

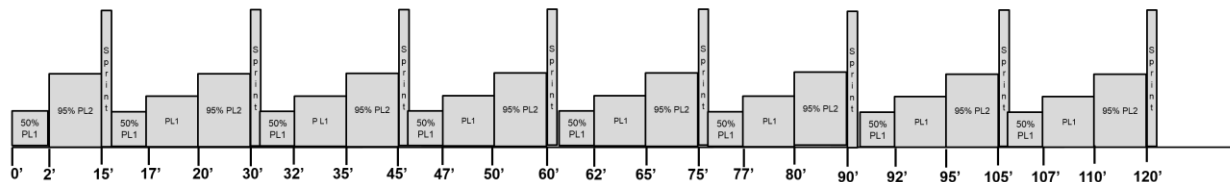
$$\text{Trabalho}_{ti_tf}: \int P(t).dt$$

Equação 2

Onde “ti” representa o tempo inicial, “tf” representa o tempo final, “ $\int P(t).dt$ ” significa a integral da potência em função do tempo. Durante o PIC e o PPC os participantes, após 1 hora de teste, consumiram 23 g de carboidrato de um sachê de gel (Hammer Gel®). A ingestão de água foi realizada de acordo com a necessidade pessoal dos participantes.

Protocolo que simula situações de uma competição (PIC)

A

Protocolo de potência constante (PPC)

B

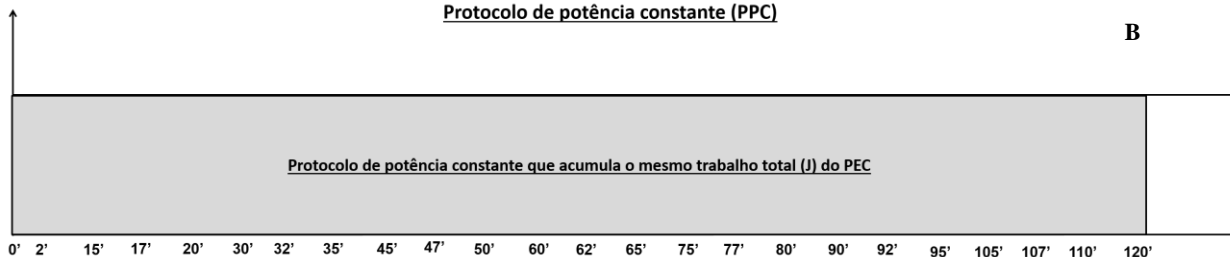


Figura 2. Protocolo específico de ciclismo (A) e de potência constante (B). 50%PL1= 50% da potência do primeiro limiar de lactato, PL1= potência do primeiro limiar de lactato, 95%PL2 = 95% da potência do segundo limiar de lactato.

3.6 Tratamento dos dados

Os sinais do estimulador elétrico e do eletromiógrafo foram adquiridos simultaneamente e de forma sincronizada a uma frequência de amostragem de 2000 Hz. Os sinais brutos de EMG extraídos das contrações dinâmicas dos modelos experimentais e das CVMs foram filtrados por meio de um filtro digital passa-banda, com frequência de corte de 20-500 Hz, do tipo *Butterworth* de terceira ordem (MERLETTI, 1997). Para a análise dos sinais foi elaborada uma rotina matemática utilizando o *software MATLAB*® versão 7.5.

3.7 Tratamento estatístico

Para apresentação dos dados foi utilizada a estatística descritiva (média e desvio padrão). A normalidade, esfericidade e a homogeneidade dos dados foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk, Mauchly e Levene, respectivamente. Para as variáveis CVM, *M-wave*, PDb100, PDb10, Pt, DB10:100, VAL, RMS (%), RMS/Mwave e [La] foi utilizada a *two-way* ANOVA (protocolo x tempo) com medidas repetidas para dois tipos de protocolos (PEC e PPC) e dois tempos (PRÉ e PÓS). A potência pico e média foram analisadas por meio da *one-way* ANOVA para medidas repetidas para verificar o efeito do PEC nessas variáveis. Quando foram verificados efeitos ou interações, o teste post-hoc de Bonferroni foi aplicado. O coeficiente de correlação intraclass e o coeficiente de variação do erro típico de medida foram calculados para determinar a confiabilidade das medidas das CVMs e de prensão manual. A correlação de Pearson foi utilizada para determinar a relação entre as variáveis (ativação voluntária, RMS, torque) nos dois modelos de testes de ciclismo. Para a realização do tratamento estatístico foi utilizado o software SPSS para Windows (SPSS 17.0, USA) e o nível de significância adotado foi de $p < 0.05$.

RESULTADOS

Seis atletas (ciclistas=4; triatletas=2) bem treinados ($26 \pm 3,8$ anos; $74,8 \pm 6,7$ kg; $181,5 \pm 4,0$ cm), com tempo médio de treinamento de $3,0 \pm 2,1$ anos que participam de competições regionais, nacionais e internacionais, foram os sujeitos do presente estudo. A tabela 1 apresenta os valores de potência máxima, FC, VO_2 , e [La] obtidos no teste incremental.

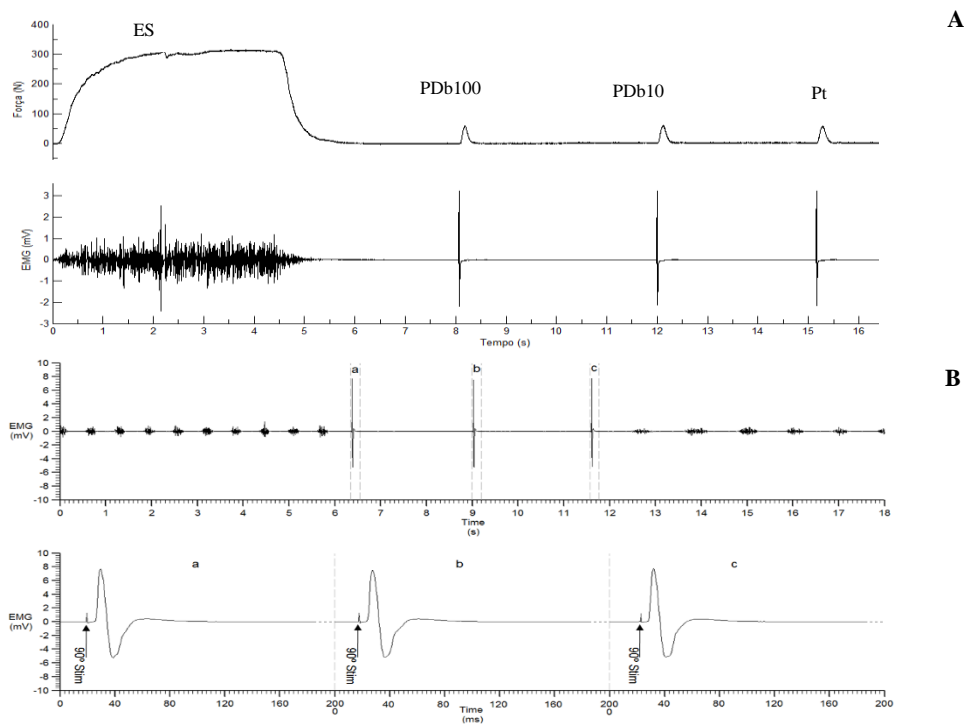
Tabela 1 - Média \pm DP das variáveis fisiológicas obtidas durante o teste incremental máximo

Variáveis	Valores
Potência máxima (Watts)	$340 \pm 37,9$
FCmax (bpm)	$187,8 \pm 4,4$
VO_2max ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$62,5 \pm 6,2$
VO_2max ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$)	$4536 \pm 570,8$
[La]pico ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$11,5 \pm 2,6$

Nota: FCmax= frequência cardíaca máxima; VO_2max = consumo máximo de oxigênio; [La] pico= maior concentração de lactato.

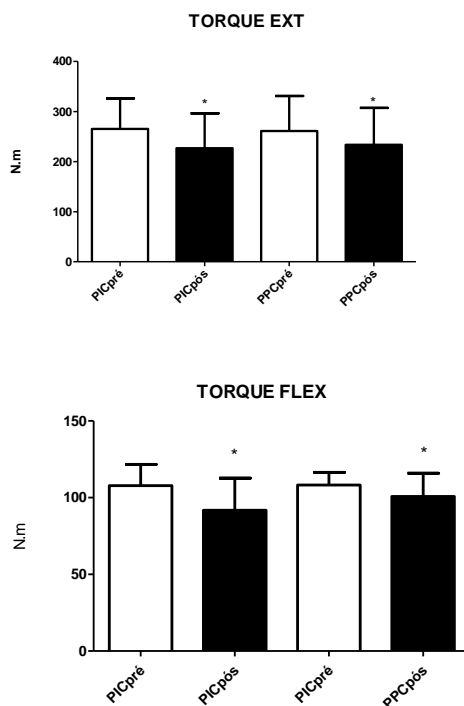
A figura 3 apresenta dados representativos de uma CVM, estímulo sobreposto e as contrações estimuladas eletricamente antes e durante a pedalada dos músculos extensores do joelho de um sujeito representativo do presente estudo.

Figura 3 – Exemplo dos dados de um sujeito antes e durante pedalada. A figura (A) demonstra uma CVM com estímulo elétrico sobreposto (ES), estímulos duplos potencializados (PDb100 e PDb10) e *peak twitch torque* (Pt). A (B) demonstra estímulos elétricos durante a pedalada.



Os valores de pico de torque das CVMs mensurados pré-exercício apresentaram bons índices de confiabilidade entre os dois protocolos de ciclismo, para os extensores ($ICC=0,96$ $CV=5,5$) e flexores ($ICC=0,78$ $CV=6,4$) do joelho. Os resultados do pico de torque dos músculos extensores e flexores do joelho não apresentaram interação entre os protocolos de ciclismo e o momento (i.e. pré vs. pós). No entanto, houve diferença significativa para o momento ($F_{[1,15]}=22,729$, $p<0,001$), ($F_{[1,15]}=9,908$, $p=0,007$) para os extensores e flexores do joelho, respectivamente (Figura 4). No PIC o percentual de redução de torque dos extensores do joelho foi de 14,6 %, enquanto no PPC foi de 10,5 %. A redução de torque dos flexores do joelho no PEC foi de 14,7% e no PPC de 8,11%.

Figura 4 - Contração voluntária máxima dos extensores e flexores do joelho mensuradas pré e pós PIC e PPC. * $p<0,05$ em relação ao pré exercício.



A Tabela 2 apresenta as respostas das variáveis *M-wave*, PDb100, PDb10, Pt e DB10:100. Todos os valores médios registrados após os testes, exceto DB10:100, duração da *M-wave* do músculo vasto lateral e duração da *M-wave* do músculo reto femoral, foram significativamente menores que aqueles mensurados no início do teste.

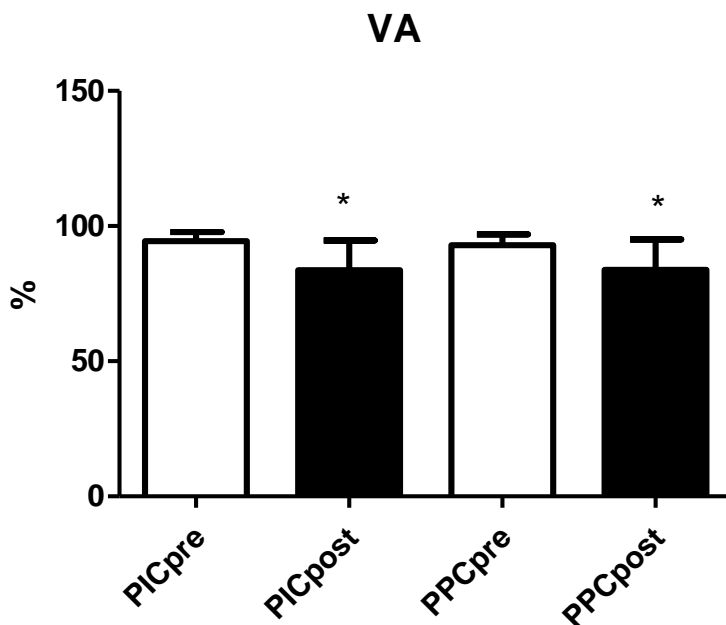
Tabela 2. Média e desvio padrão da amplitude dos estímulos pareados de alta frequência (PDb100), de baixa frequência (PDb10), do *peak twitch torque* (Pt) e da razão entre PDb100 e PDb10 (DB10:100) dos músculos extensores do joelho, e as respostas da EMG (*M-wave*) por meio do Pt dos músculos vasto lateral e reto femoral.

	PIC		PPC	
	PRÉ	PÓS	PRÉ	PÓS
PDb100 (N·m)	68,3 ±7,7	43,4 ±19,1***	65,3 ±13,2	49,7 ±13,07***
PDb10 (N·m)	63,6 ±7,7	38,4 ±10,9***	59,7 ±10,8	50,4 ±11,46***
Pt (N·m)	48,9 ±11,6	30,8 ±15,5***	51,4 ±10,8	41,6 ±9,3***
DB10:100	0,93 ±0,04	0,98 ±0,35	0,92 ±0,09	0,95 ±0,13
M-wave amplitude _{VL} (mV)	15 ±2,7	12,2 ±2,5***	15,8 ±3,69	14,2 ±3,77***
M-wave duração _{VL} (ms)	9,8 ±2,5	11,2 ±2,0	10,4 ±2,4	11,5 ±2,2
M-wave amplitude _{RF} (mV)	6,0 ±1,3	5,3 ±1,5*	6,5 ±1,84	5,3 ±1,90*
M-wave duração _{RF} (ms)	7,2 ±1,1	7,3 ±1,8	7,0 ±1,05	7,3 ±0,75

Diferença significativa em relação ao pré exercício: * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$.

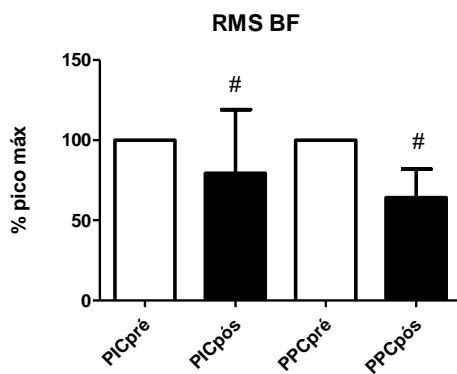
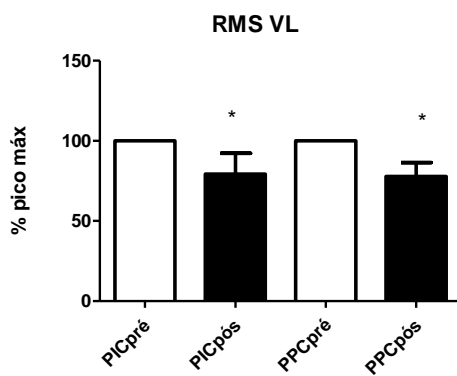
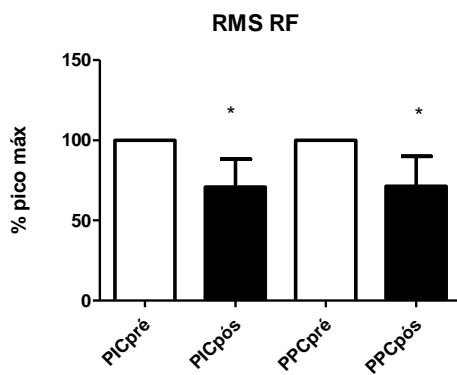
A ativação voluntária pré-exercício foi similar para o PIC e o PPC. A ativação voluntária reduziu significativamente ($F_{[1,15]}=11,073$, $p=0,005$) após os dois modelos de exercício (Figura 5). A redução da ativação voluntária no PIC foi de 11,4% e no PPC de 9,8%.

Figura 5 - Ativação voluntária (VAL) mensurada pré e pós PIC e PPC.
* $p<0,05$ em relação ao pré-exercício.



Por meio do sinal eletromiográfico, pode-se observar uma redução na ativação (RMS) dos músculos RF, VL e BF após os dois modelos de exercício. Entre os modelos de exercício (PIC e PPC) não houve diferença no pré exercício (Figura 6).

Figura 6 – Valor *root mean square* (RMS) dos músculos reto femoral (RF), vasto lateral (VL) e bíceps femoral (BF) mensurado durante o momento pré e pós do protocolo específico de ciclismo e protocolo de carga constante. * $p < 0,001$ # $p < 0,01$ em relação ao pré-exercício.



Os resultados mensurados antes do exercício, no PIC e PPC, do valor RMS normalizado pela amplitude máxima da *M-wave* foram similares. Houve redução significativa em relação ao pré-exercício tanto no PIC como no PPC após a pedalada nos músculos vasto lateral e reto femoral (Tabela 3).

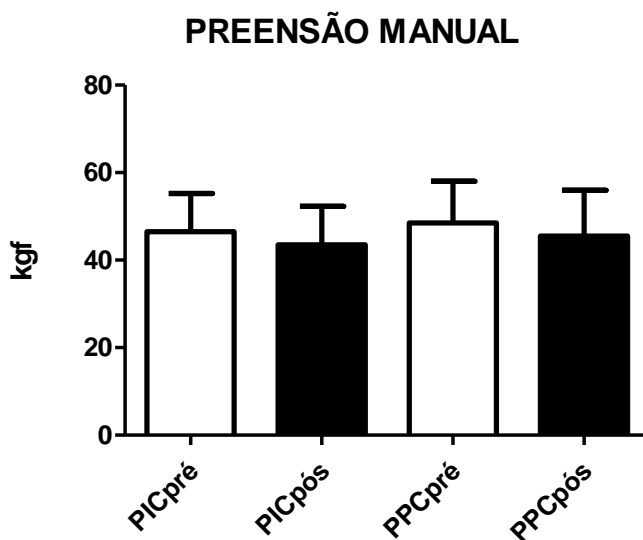
Tabela 3. Média e desvio padrão do valor *root mean square* (RMS) dos músculos vasto lateral (VL) e reto femoral (RF) normalizado pela máxima amplitude do potencial de ação (M_{MAX}) mensurada antes e após os protocolos específico de ciclismo (PIC) e de carga constante (PCC).

	Pré _{VL}	Pós _{VL}	Pré _{RF}	Pós _{RF}
PIC	0,056 ±0,01	0,045 ±0,011 *	0,096 ±0,020	0,068 ±0,023 *
PPC	0,049 ±0,014	0,037 ±0,008 *	0,075 ±0,027	0,053 ±0,022 *

*Diferença significativa em relação ao pré-exercício. $p < 0,05$

A figura 7 apresenta as respostas da força absoluta de preensão manual pré e pós PIC e PPC. Não houve diferença entre os modelos nos valores pré-ciclismo (ICC=0,95 CV=4,4%). Ao analisar o gráfico, percebe-se que a força não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) pré e pós-exercício tanto no PIC quanto no PPC.

Figura 7 – Força absoluta de preensão manual mensurada pré e pós PIC e PPC.



A média e o desvio padrão da amplitude e duração da *M-wave* durante a pedalada pode ser observada na Tabela 4. Os resultados demonstram que a amplitude da *M-wave* do músculo vasto lateral foi significativamente maior no 1°, 30°, 60° min comparado com o 120° min e do músculo reto femoral apenas no 30° min em relação ao 120° min.

Tabela 4. Média e desvio-padrão da amplitude e duração da *M-wave* durante a pedalada dos músculos vasto lateral (VL) e reto femoral (RF).

	PIC					PCC				
	1'	30'	60'	90'	120'	1'	30'	60'	90'	120'
M-wave ampl _{VL} (mV)	24,81 ±7,5*	26,93 ±7,3*	26,93 ±7,2*	21,35 ±10,9	12,10 ±6,9	25,33 ±9,2*	25,18 ±9,6*	24,69 ±6,2*	19,29 ±9,03	15,19 ±10,6
M-wave ampl _{RF} (mV)	12,61 ±4,5	12,5 ±4,0*	11,14 ±3,37	10,67 ±4,8	8,26 ±3,1	10,02 ±3,5	11,72 ±5,8*	10,49 ±5,8	7,54 ±5,2	7,57 ±6,6
M-wave dur _{VL} (ms)	8,35 ±1,4	8,16 ±1,4	8,03 ±1,6	8,00 ±1,2	8,61 ±0,5	8,07 ±0,6	8,43 ±1,2	7,89 ±0,8	8,61 ±0,9	8,25 ±0,7
M-wave dur _{RF} (ms)	6,38 ±0,9	6,88 ±1,4	6,79 ±1,8	6,44 ±2,1	6,29 ±0,9	6,00 ±0,8	6,13 ±1,1	6,50 ±1,3	5,53 ±1,0	6,06 ±0,9

Diferença significativa em relação ao tempo 120'. *P < 0,05.

Os valores médios da [La] mensurados pré-exercício não apresentaram diferença entre os testes. Os resultados das [La] não apresentaram interação entre os protocolos de ciclismo e o tempo e também não houve diferença entre os intervalos de tempo analisados. Ocorreu diferença significativa para os modelos ($F_{[1,75]}=14,020$, $p<0,001$). A [La] foi significativamente maior no PIC em relação ao PPC ($F_{[1,75]}=24,461$ $p<0,001$). Além disso, houve aumento significativo durante os testes para PSE ($F_{[7,75]}=20,867$ $p<0,001$).

Tabela 5. Comportamento médio da [LAC] e PSE ao longo dos protocolos PIC e PPC.

PIC								
Tempo (min)	14'	28'	43'	58'	73'	88'	103'	118'
Lactato	3,22 ±0,8	4,23 ±1,5	3,62 ±1,3	3,99 ±1,5	3,80 ±1,1	3,56 ±1,2	3,47 ±0,9	3,47 ±1,3
Borg	4 ^a ±0,9	5 ^b ±1,0	6 ^c ±0,8	6 ^d ±1,2	7 ^e ±1,7	7 ^f ±1,4	7 ^g ±0,9	8 ^h ±0,7
PPC								
Tempo (min)	14'	28'	43'	58'	73'	88'	103'	118'
Lactato	2,52* ±1,5	2,23* ±0,9	2,24* ±0,9	2,26* ±1,0	2,39* ±1,0	2,61* ±1,2	2,85* ±1,6	3,28* ±2,7
Borg	3 ^{a*} ±0,8	4 ^{b*} ±0,9	5 ^{c*} ±0,8	5 ^{d*} ±0,4	6 ^{e*} ±1,6	6 ^{f*} ±0,8	7 ^{g*} ±1,0	7 ^{h*} ±0,9

* $p<0,05$ diferença significativa entre os modelos. a $p<0,05$ em relação a 43', 58', 73', 88', 103', 118' b $p<0,05$ em relação a 58', 73', 88', 103', 118' c $p<0,05$ em relação a 88', 103', 118' d $p<0,05$ em relação a 14', 29', 118' e $p<0,05$ em relação a 14', 28', 118'; f $p<0,05$ em relação a 14', 28', 43' g $p<0,05$ em relação a 14', 28', 43' h $p<0,05$ em relação a 14', 28', 43', 58', 73'.

O desempenho individual e médio das potências pico e média durante o PIC é apresentado na tabela 6. Não houve diferença significativa em ambas as análises.

Tabela 6. Comportamento individual e médio das potências pico e média durante o PIC

		Potência pico (W)							
Sprints		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
		1096	998	986	934	893	888	948	980
		735	833	778	844	806	896	818	914
		929	1006	882	825	782	728	758	839
		798	828	850	820	754	872	907	974
		1037	1051	1048	986	891	1090	1114	1113
		693	591	553	267	468	497	377	384
		881	885	849	779	766	828	820	868
Média		164	171	174	259	156	199	249	253
DP									
		Potência média (w)							
Sprints		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
		904	865	843	780	775	748	787	795
		584	579	637	619	577	581	570	533
		724	749	659	625	645	538	579	653
		702	721	711	682	675	719	745	802
		540	565	571	510	520	550	528	538
		521	205	174	402	202	266	190	294
		662	614	599	603	566	567	567	602
Média		144	229	227	132	198	171	211	191
DP									

Nota: S1 – 1º Sprint, S2 – 2º Sprint, S3- 3º Sprint, S4- 4º Sprint, S5- 5º Sprint, S6- 6º Sprint, S7- 7º Sprint, S8- 8º Sprint

DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi comparar a fadiga neuromuscular em dois protocolos distintos de ciclismo. Os principais resultados do presente estudo foram (i) a redução do torque dos músculos extensores e flexores da articulação do joelho foi similar em ambos os protocolos (específico e constante) (ii) os mecanismos periféricos e centrais que contribuíram para redução da força foram similares nos dois testes de ciclismo (iii) a amplitude e duração da *M-wave* ao longo da pedalada foi similar no PIC e no PPC. Esses resultados sugerem que a variação dos protocolos de ciclismo não influencia a fadiga neuromuscular dos extensores e flexores da articulação do joelho.

Os resultados do presente estudo mostram que o pico de torque isométrico dos extensores da articulação do joelho diminuiu 14,6% após o PIC e 10,5% após o PPC. Os flexores reduziram 14,7% após PIC e 8,1% após PPC. A magnitude da redução do torque foi similar à de estudos prévios de ciclismo de longa duração (LEPERS et al., 2000, LEPERS et al., 2002). Por outro lado, essa redução não é tão expressiva quanto a observada por Kremic et al. (2009) que encontraram uma queda de 22% após protocolo similar ao do presente estudo. Uma das hipóteses do presente estudo foi que o PIC apresentaria uma maior redução do pico de torque durante a extensão e flexão do joelho. No entanto, os resultados demonstram um comportamento similar no PIC e PPC. Dessa forma, por meio dos achados do presente estudo, verifica-se que provavelmente o mesmo trabalho acumulado em ambos os modelos de exercício (PIC e PPC) tenha sido o motivo pelo qual não foram observadas diferenças para o pico de torque entre os modelos.

Os mecanismos periféricos contribuíram de forma similar no PIC e no PPC para redução de torque dos músculos extensores e flexores do joelho. As principais variáveis que indicam fadiga periférica (PDb100, Pt e amplitude da *M-wave* dos músculos VL e RF) apresentaram reduções significantes após ambos os testes (Tabela 2). Corroborando com o presente achado, Jubeau et al. (2014) encontraram redução significativa nos indicadores de fadiga periférica durante pedalada de 4 horas. Vários processos podem ter influenciado na redução dos indicadores de fadiga periférica, incluindo a redução na liberação de cálcio no retículo sarcoplasmático e a interação miofibrilar (AMENT, VERKERKE, 2009).

Por meio da análise dos estímulos elétricos na musculatura relaxada, pôde-se observar uma redução da amplitude da *M-wave* dos músculos VL e RF. A amplitude da *M-wave* é provocada experimentalmente para verificar a integridade entre o local do estímulo

(nervo do músculo ou ponto motor) e o músculo por meio da EMG. Ou seja, a *M-wave* testa a integridade da propagação neuromuscular (ENOKA e STUART, 1992). Os achados do presente estudo mostraram uma redução significativa na amplitude da *M-wave* dos músculos VL e RF tanto no PIC quanto no PPC (Tabela 2). Mesmo que não tenha apresentado diferença significativa, a duração da *M-wave* tendeu a aumentar. Somado a isso, também foi avaliado o comportamento da *M-wave* ao longo de toda pedalada (Tabela 4). Os resultados encontrados mostram que amplitude da *M-wave* do VL foi significativamente maior no 1, 30 e 60 min comparado com o 120 min tanto no PIC quanto no PPC, enquanto o RF apresentou diferença apenas no 30 min em relação ao 120 min.

De acordo com a literatura consultada, o presente estudo é o primeiro a analisar o comportamento da *M-wave* ao longo de toda a pedalada. Jubeau et al. (2014) encontraram redução na amplitude da *M-wave* do músculo RF após 80, 160 e 240 min de pedalada, mas os músculos VL e vasto medial (VM) apresentaram diferença somente após 160 min. No estudo de Lepers et al. (2000) com duração similar ao do presente estudo (2 horas) mas intensidade inferior (65% P_{MAX}), avaliando a amplitude e duração da *M-wave* antes e após a pedalada, os autores encontraram redução na amplitude somente para o músculo VM, já a duração aumentou nos músculos VL e VM. Lepers et al. (2002) constataram que os valores médios da amplitude da *M-wave*, analisados a cada hora de pedalada, dos músculos VL e VM não apresentaram diferença ao longo de 5 horas de pedalada. Esta diferença em relação a resposta da *M-wave* é normalmente encontrada na literatura e pode ser, pelo menos em parte, devido à diferença nas atividades realizadas para induzir a fadiga (LEPERS et al., 2000, LEPERS et al., 2002).

Os achados do presente estudo demonstram que ocorreu redução do PDb100 e Pt, indicando a existência de fadiga periférica (Tabela 2). Os estudos prévios de ciclismo têm mostrado evidências para redução dos picos de torque estimulados eletricamente (LEPERS et al., 2008, DECORTE et al., 2012, JUBEAU et al., 2014). Mesmo que o presente estudo indique fadiga periférica, podemos apenas especular sobre os mecanismos responsáveis por essa situação. Os mecanismos para a fadiga periférica envolvem a influência da acumulação de metabólito intramuscular, tal como o fosfato inorgânico (Pi) e prótons de hidrogênio (H^+), que pode gerar influências inibitórias sobre o desenvolvimento de força e sensibilidade ao Ca^{+2} (GODT, NOSEK, 1989).

A presença de fadiga de baixa frequência foi analisada por meio da razão dos estímulos elétricos de 100 Hz e 10 Hz (VERGES et al.,

2009). É possível realizar uma avaliação indireta do acoplamento excitação-contração muscular a partir da razão dos estímulos de alta (PDb100) e baixa frequência (PDb10) (DB10:100), considerada uma alternativa para mensurar a fadiga de baixa frequência (VERGES et al., 2009). Os achados do presente estudo não demonstraram diferença significativa após os modelos de ciclismo (PIC e PPC) na razão DB10:100, indicando que a fadiga de baixa frequência não foi determinante no desenvolvimento da fadiga periférica. A fadiga de baixa frequência (DB10:100) tem sido relacionada com a falha no acoplamento excitação-contração (HILL et al., 2001). Millet et al. (2011), avaliando corredores de ultramaratona de montanha, sugerem que, após exercício de longa duração com dano excêntrico e baixa intensidade, ocorreu fadiga de baixa frequência. Outro estudo avaliando os músculos extensores do joelho por meio de contrações excêntricas também encontrou fadiga de baixa frequência (MARTIN et al., 2004). Desta forma, isso pode explicar porque não houve diferença para fadiga de baixa frequência no presente estudo, pois o dano excêntrico no ciclismo não é encontrado.

Além da diminuição dos mecanismos de fadiga periférica, por meio da técnica do *twitch* interpolado, pôde-se também observar uma redução na ativação voluntária após o PIC e PPC. Corroborando com nossos achados, os estudos de ciclismo têm mostrado evidências de redução na ativação voluntária (LEPERS et al., 2002, LEPERS et al., 2008, FERNANDEZ-DEL-OLMO et al., 2013, JUBEAU et al., 2014). Por outro lado, Millet et al. (2003) não encontram fadiga central após 140 km de pedalada. Na literatura revisada, apenas um estudo avaliou ciclistas e triatletas em situações próximas da realidade de uma competição (KREMIC et al., 2009). Os autores encontram redução significativa na ativação voluntária após 2 horas de pedalada. No presente estudo, não foram encontradas diferenças entre os protocolos de fadiga (Figura 5). A redução na ativação voluntária reflete um reduzido número de unidades motoras que foram voluntariamente solicitadas durante as CVMs após os testes. Em uma série de estudos tem sido sugerido que o *feedback* aferente das fibras nervosas dos músculos envolvidos na atividade inibe o impulso central para os mesmos músculos (AMANN et al., 2006, 2008, 2009, 2011). Os resultados desses estudos indicam que as fibras nervosas aferentes dos grupos III (mielinizadas) e IV (amielinizadas) podem agir a nível supra-espinhal com efeitos inibitórios sobre a ativação voluntária do neurônio motor. Jubeau et al. (2014) sugerem que as mudanças centrais, por meio das fibras nervosas dos grupos III e IV, pode ser em parte responsável pela fadiga periférica durante e após pedalada de 4 horas. Por outro lado, alguns autores (FERNANDEZ-DEL-OLMO et al., 2013),

analisando a fadiga em testes de *Wingate*, sugerem que o *feedback* aferente relacionado com a fadiga periférica não é um determinante para fadiga central.

Outras avaliações para mensurar as alterações na ativação central foram realizadas. Os achados do presente estudo mostraram uma redução significativa no valor RMS dos músculos VL, RF e BF. O valor RMS reflete a atividade elétrica das unidades motoras, e consequentemente, os efeitos do exercício físico na ativação muscular dessas unidades. A ativação muscular normalizada pela *M-wave* também apresentou redução significativa em relação aos valores pré-exercício (Tabela 3). Apesar dessa técnica ser menos reprodutível (PLACE et al., 2007), é a única forma de avaliar a modificação na ativação individual dos músculos (MILLET et al., 2012). No presente estudo, todos os métodos utilizados para avaliar ativação central demonstram que a fadiga central contribuiu para a redução da capacidade de gerar torque.

A mensuração da ativação voluntária por meio da estimulação elétrica com o método *twitch interpolation* (Merton, 1954) não permite identificar se a fadiga central foi originada em nível supra-espinal ou espinal (GANDEVIA, 2001). Um parâmetro recomendado para investigar a fadiga supra-espinal é a utilização da análise de produção de força dos membros não envolvidos no exercício (MILLET; LEPERS, 2004). Os achados do presente estudo mostraram que a força de preensão manual não sofreu alteração significativa após os dois protocolos de ciclismo. Estudos recentes também investigaram se a redução da força muscular nos membros não envolvidos com o exercício estaria relacionada com a fadiga supra-espinal (força de preensão manual) (MILLET et al. 2003; ROSS et al. 2010, DECORTE et al., 2012). Segundo Ross et al. (2010), a força de preensão manual não foi alterada durante e após 20 km de corrida, mas por meio da estimulação transcraniana encontraram uma produção abaixo do ideal do córtex motor para o músculo tibial anterior, sugerindo um tipo de fadiga supra espinal que é seletiva e específica para o músculo utilizado na atividade. De maneira semelhante, Millet et al. (2003) e Decorte et al. (2012) também não encontram diferença significativa na força de preensão manual.

Em relação à PSE, nossos resultados mostram que a PSE é sensível à intensidade e duração do exercício nos dois modelos de pedalada, estando de acordo com outros estudos que analisaram a PSE no ciclismo (LEPERS et al., 2008, JUBEAU et al., 2014). Os resultados estão de acordo com o estudo de Crewe et al. (2008), que relatam que o aumento da PSE é uma função linear da duração do exercício. Segundo Decorte et al. (2012) o aumento linear na percepção de esforço ao longo

de uma pedalada, a 80% da P_{MAX} durante 6 min, com 4 min de intervalo, continuando assim até a exaustão ou a incapacidade de manter a cadência da pedalada (± 3 rpm), sugere que a percepção de esforço acompanha a redução na força dos músculos extensores do joelho. Ao analisar o comportamento da $[La]$ é possível perceber que o PIC apresentou valores maiores de lactato em comparação com o PPC. Esta resposta fisiológica parece sugerir uma magnitude de exercício acima da qual a taxa de glicólise excede a utilização do piruvato mitocondrial ocasionando assim o sucessivo acúmulo de lactato no sangue (BENEKE; DULIVARD, 1996). Os valores maiores de $[La]$ durante o PIC podem ser explicados pela maior solicitação do sistema anaeróbio durante os *sprints*. Os achados do presente estudo estão de acordo com o estudo de Theurel; Lepers (2008) que relatam uma maior $[La]$ no teste com períodos e potências alternadas (100, 150 e 200% da P_{MAX} durante 20, 15 e 10 s, respectivamente) comparado com de potência constante (70% da P_{MAX}).

Uma limitação metodológica do presente estudo é o tamanho da amostra ($n=6$). No entanto, a amostra era homogênea em relação ao histórico de treinamento e preparo físico. Outra limitação foi não mensurar a contribuição da fadiga supra-espinal por meio da estimulação transcraniana, pois se sabe que a fadiga central avaliada por meio da estimulação elétrica não consegue identificar se a fadiga foi supra-espinal ou espinal (GANDEVIA, 2001). Jubeau et al. (2014) já encontraram a participação da fadiga supra espinal em exercício prolongado de ciclismo.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados no presente estudo, conclui-se que os músculos extensores do joelho apresentaram redução similar na produção de força após protocolo simulando situações de competição e protocolo de potência constante. Além disso, as alterações centrais e periféricas responsáveis pela redução da força foram similares nos dois modelos de exercício. Desta forma, estes dados sugerem que a fadiga em exercícios com duração igual e mesmo trabalho realizado não depende do modelo do exercício.

Entretanto, mais estudos devem ser desenvolvidos para compreender melhor a interação entre fadiga periférica e central no ciclismo que possam nortear a prática profissional, melhorando o desempenho.

REFERÊNCIAS

- ABBISS, C.R., & LAURSEN, P.B. (2005). Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. **Sports Med**, 35(1): 865-898.
- AMANN, M. (2011) Central and Peripheral Fatigue: Interaction during Cycling Exercise in Humans. **Med Sci Sports Exerc.**, 43(11) 2039–2045.
- AMANN, M., DEMPSEY, J.A.(2008) Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. **J Physiol**, 586(1):161–73.
- AMANN, M. (2009) Dempsey JA. When fatiguing cycling muscles complain the brain insightfully responds. **Physiol News**, 75:13–4.
- AMANN, M., ELDRIDGE, M.W., LOVERING, A.T., STICKLAND, M.K., PEGELOW, D.F., DEMPSEY, J.A. (2006). Arterial oxygenation influences central motor output and exercise performance via effects on peripheral locomotor muscle fatigue. **J Physiol**. 575(3):937–952.
- AMENT, W., & VERKERKE, G.J. (2009). Exercise and fatigue. **Sports Med**, 39(5): 389-422.
- ARAMPATZIS, A., KARAMANIDIS, K., DE MONTE, G., STAFILIDIS, S., MOREY-KLAPSING, G., BREUGGEMANN, G. P. (2004). Differences between measured and resultant joint moments during voluntary and artificially elicited isometric knee extension contractions. **Clin Biomech**, 19(1): 277-283.
- ASTRAND, P.O. (1956) Human physical fitness with special reference to sex and age. **Physiol Review**, 36: 307-336.
- BALOG, E.M., FITTS, R.H. (1996) Effects of fatiguing stimulation on intracellular Na⁺ and K⁺ in frog skeletal muscle. **J Appl Physiol**, 81: 679–685.
- BAUM, B. S., & LI, L. (2003). Lower extremity muscle activities during cycling are influenced by load and frequency. **J Electromyogr Kinesiol**, 13(1):181-90.
- BELTRAMI, F. G., FROYD, C., MAUGER, A. R., METCALFE, A. J., MARINO, F., NOAKES, T. D. (2012). Conventional testing methods produce submaximal values of maximum oxygen consumption. **Br J Sports Med**, 46(1):23-29.

BEHM, D.G., SAINT-PIERRE D., PEREZ, D., (1996) Muscle inactivation: assessment of interpolated twitch technique. **J Appl Physiol**, 81(5):2267-2273.

BENEKE, R.; VON DUVILARD, S. P. (1996) Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. **Med Sci Sports Exerc**, 28(2):241-246.

BERG, A., JAKOB, E., LEHMANN, M., DICKHUTH, H.H., HUBER G., KEUL L. (1990). Aktuelle aspekte der modernen ergometrie. **Pneumol**, 44(1):2-13.

BIGLAND-RITCHIE B., FURBUSH F., WOODS J. (1986). Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions: central and peripheral factors. **J Appl Physiol**. 61(2): 421-429.

BINI, R.R., DIEFENTHAELER, F., & MOTA, C.B. (2010). Fatigue effects on the coordinative pattern during cycling: Kinetics and kinematics evaluation. **J Electromyogr Kinesiol**, 20(1): 102-107.

BINI, R.R., CARPES, F.P, DIEFENTHAELER, F., MOTA, C.B., GUIMARÃES, A.C. (2008). Physiological and electromyographic responses during 40km cycling time trial: Relationship muscle coordination and performance. **J Sci Med Sport**, 20: 363-370.

BORG, G.A. Psychophysical bases of perceived exertion. (1982). **Med Sci Sports Exerc**, 14(1): 377-381.

CAMATA, T.V., ALTIMARI L.R., BORTOLOTTI H., DANTAS J.L, FONTES E.B, SMIRMAUL B.P, OKANO A.H, Chacon-Mikahil M.P, Moraes A.C. (2011). Electromyographic activity and rate of muscle fatigue of the quadriceps femoris during cycling exercise in the severe domain. **J Strength Cond Res**, 25(9):2537-2543.

CANDOTTI, C.T., RIBEIRO, J., SOARES, D.P., OLIVEIRA, A.R., LOSS, J.F., & GUIMARÃES, A.C.S. (2007) Effective force and economy of triathletes and cyclists. **Sport Biomech**, 6(1):32-43.

COYLE, E.F., COGGAN, A.R., HOPPER, M.K. & WALTERS, T.J. (1988). Determinations of endurance in well-trained cyclists, **J Appl Physiol**, 64(6):2622-2630.

CREWE, H., TUCKER, R., NOAKES, T.D. (2008) The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise to fatigue at a fixed power output in different environmental conditions. **Eur J Appl Physiol**, 103: 569 – 577.

DELUCA, C.J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics.

J Appl Biomech;13:135 - 63.

DIEFENTHAELER, F., VAZ, M. A. (2008). Aspectos relacionados à fadiga durante o ciclismo: uma abordagem biomecânica, **Rev Bras Med Esp**, 14:(5), 472-477.

DIEFENTHAELER, F., COYLE, E.F., BINI, R.R., CARPES, F.P., VAZ, M.A. (2012). Muscle activity and pedal force profile of triathletes during cycling to exhaustion. **Sport Biomech**, 11(1):10-19.

DECORTE N., LAFAIX P.A., MILLET G.Y., WUYAM B., VERGES, S. (2012) Central and peripheral fatigue kinetics during exhaustive constant-load cycling. **Scand J Med Sci Sports** 22: 381–391.

DIMITROVA, N.A., DIMITROV, G.V. (2003). Interpretation of EMG changes with fatigue: facts, pitfalls, and fallacies, **J Electromyogr Kinesiol**, 13(1):13-36.

DUC S., BETIK A.C., GRAPPE, F. (2005). EMG activity does not change during a time trial in competitive cyclists. **Int J Sports Med**, 26(1):145-150.

EBERT T.R., MARTIN, D., MCDONALD, W., VICTOR, J., PLUMMER, J., WITHERS, R.T. (2005) Power output during women's World Cup road cycle racing. **Eur J Appl Physiol**, 95(1):529–536.

ENOKA, R. M. & STUART, D. G. (1992) Neurobiology of muscle fatigue. **J Appl Physiol**, 72(5):1631-1648.

ENOKA, R.M, DUCHATEAU, J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. **J Physiol**, 586(1): 11-23.

ENOKA, R.M.(2008). Neuromechanics of human movement. **Human Kinectis**. 4th ed.

FERNANDEZ-DEL-OLMO, M., RODRIGUEZ, F. A, MARQUEZ, G., IGLESIAS, X. M. MARINA, A., BENITEZ, L., VALLEJO, ACERO, R.M. (2013). KKIIsometric Lknee extensor fatigue following a Wingate test: peripheral and central mechanisms, **Scand J Med Sci Sports**. 25(2):124-128.

FROYD, C., MILLET, G.Y., NOAKES, T.D. (2012) The Development of Peripheral Fatigue and Short-Term Recovery During Self-Paced High-Intensity Exercise. **J Physiol** 591: 1339–1346.

GANDEVIA, S.C. (1998). Neural control in human muscle fatigue: changes in muscle afferents, motoneurons and motor cortical drive. **Acta Physiol Scand** 162(3):275-283.

GANDEVIA, S.C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. **Physiological Review** 81(4):1725-1771.

GIL, A. C. (2010). *Como elaborar projetos de pesquisa*. (5a ed.). São Paulo: Atlas.

GODT, R.E., NOSEK, T.M.(1989) Changes of intracellular milieu with fatigue or hypoxia depress contraction of skinned rabbit skeletal and cardiac muscle. **J Physiol**, 412: 155–180.

HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MÜCKE, S.; MÜLLER, R.; HOLLMANN, W.(1985) Justification of the 4mmol/l lactate threshold. International **J Sports Med**, v.6, p.117-130.

HERBERT, R.D., GANDEVIA, S.C (1999). Twitch Interpolation in Human Muscles: mechanisms and implications for measurement of voluntary activation. **J Neurophysiol** 82(1): 2271-2283.

HERMENS, H.J., FRERIKS, B., DISSELHORST-KLUG, C., RAU, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. **J Electromyogr Kinesiol** 10(1): 361-374.

HILL, C.A., THOMPSON, M.W., RUELL, P.A., THOM, J.M., WHITE, M.J.(2001) Sarcoplasmic reticulum function and muscle contractile character following fatiguing exercise in humans. **J Physiol**, 531: 871–878.

JUBEAU, M., RUPP, T., PERREY, S., TEMESI, J., MUYAM B., LEVY P., VERGES, S., MILLET, G.Y. (2014) Changes in Voluntary Activation Assessed by Transcranial Magnetic Stimulation during Prolonged Cycling Exercise. **PLoS ONE** 9(2): e89157.

KAY, D., MARINO, F., CANNON, J., ST CLAIR GIBSON, A., LAMBERT, M.I, NOAKES, T.D. (2001). Evidence for neuromuscular fatigue during high intensity cycling in warm, humid conditions. **Eur J Appl Physiol**, 84(1-2):115-121.

KAYSER, B. Exercise starts and ends in the brain. (2003). **Eur J Appl Physiol**, 90(1):411-419.

- KUIPERS H, VERSTAPPEN FT, KEIZER HA, GEURTEN P, VAN KRANENBURG G. (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. **Int J Sports Med**, 6(4):197-201.
- KREMENIC, I., GLACE, B.W., SIMON BEN-AVI, S., NICHOLAS, S.J., MCHUGH, M.P. (2009) Central fatigue after cycling evaluated using peripheral magnetic stimulation. **Med Sci Sports Exerc**. 41(7):1461-1466.
- NOAKES, A. & St CLAIR GIBSON, A. (2004). Logical limitations to the “catastrophe” models of fatigue during exercise in humans. **Br J Sports Med**, 38(1): 648-649.
- LEPERS, R., HAUSSWIRTH, C., MAFFIULETTI, N., BRISSWALTER, J., & VAN HOECKE, J. (2000). Evidence of neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. **Med Sci Sports Exerc**, 32(1): 1880-1886.
- LEPERS, R., MAFFIULETTI, N.A., ROCHETTE, L., BRUGNIAUX, J., & MILLET, G. Y. (2002). Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. **J Appl Physiol**, 92(1): 1487-1493.
- LEPERS, R., THEUREL J., HAUSSWIRTH C., BERNARD T. (2008). Neuromuscular fatigue following constant versus variable-intensity endurance cycling in triathletes. **J Sci Med Sport**, 11(1): 381-389.
- MACDONALD, J.H., FARINA, D., MARCORA, S. M. (2008). Response of eletromyographic variables during incremental and fatiguing cycling. **Med Sci Sports Exerc**. 40(2): 335-344.
- MARFELL-JONES M., OLDS T., STEWART A., CARTER J.E.L. International standards for anthropometric assessment. Sydney: UNSW Press; 2006.
- MARTIN D.T., MCLEAN B., TREWIN C., LEE H., VICTOR J, HAHN A.G. (2001). Physiological characteristics of nationally competitive female road cyclists and demands of competition. **Sports Med**, 31(7):469–477.
- MARTIN, V., MILLET, G.Y., LATTIER, G., PERROD, L. (2004) Effects of recovery modes after knee extensor muscles eccentric contractions. **Med Sci Sports Exerc** 36:1907–1915.
- MARTIN, V., KERNHERVÉ, H., MESSONIER, L. A., BANFI, J.C., GEYSSANT, A., BONNEFOY, R. FÉASSON, L., MILLET, G.Y.(2010)

Central and peripheral contributions to neuromuscular fatigue induced by a 24-h treadmill run. **J Appl Physiol**, 108(5):1224-1233.

MEEUSEN, R., WATSON, P., HASEGAWA, H., ROELANDS, B., PIACENTINI, M.F. (2006) Central Fatigue: The Serotonin Hypothesis and Beyond. **Sports Med**, 36(10):881-909.

MERLETTI, R. (1997). "Standards for reporting EMG data". **J Electromyogr Kinesiol**, 7(1):1-2.

MERTON, P.A. Voluntary strength and fatigue. **J Physiol**, 123(1):553-564.

MORITANI, T., TAKAISHI, T., MATSUMOTO, T. (1993) Determination of maximal power output at neuromuscular fatigue threshold. **J Physiol Appl**, 74(1):1729-1734.

MILLET, G.Y., MILLET, G.P., LATTIER, G., MAFFIULETTI, N.A., & CANDAU, R. (2003). Alteration of neuromuscular function after a prolonged road cycling race. **Int J Sports Med**, 24(1): 190-194.

MILLET, G.Y., LEPERS, R. (2004) Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. **Sports Med**, 34(2):105-116.

MILLET, G. Y. (2011). Can neuromuscular fatigue explain running strategies and performance in ultra-marathons? **Sports Med**, 41(6):489-506.

MILLET, G.Y., TOMAZIN, K., VERGES, S., VICENT, C., BONNEFOY, R., RENÉE-CLAUDE, B., LAURENT, G., LEONARD, F., VINCENT, M. (2011) Neuromuscular consequences of an extreme mountain ultra-marathon. **PLoS One** 6: e17059.

MILLET, G.Y. BACHASSON, D., TEMESI, J., WUYAN B., FÉASSON L., VERGÈS, S., LÉVY, P. (2012). Potential interests and limits of magnetic and electrical stimulation techniques to assess neuromuscular fatigue. **Neurom Disorders**. 22(1): 181-186.

NYBO L., NIELSEN B. (2001). Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. **J Physiol Appl**, 91(3):1055-1060.

NYBO, L., SECHER, N.H.(2004). Cerebral perturbations provoked by prolonged exercise. **Prog Neurobiol**. 72(4):223-261.

PITSILADIS, Y.P., STRACHAN, A.T., DAVIDSON, I., MAUGHAN, R.J. (2002) Hyperprolactinaemia during prolonged exercise in the heat:

evidence for centrally mediated component of fatigue in trained cyclists. **Exp Physiol**; 87(2): 215-226.

PLACE, N., LEPEERS, R., DELEY, G., MILLET, G.Y.(2004) Time course of neuromuscular alterations during a prolonged running exercise. **Med Sci Sports Exerc**, 36: 1347–1356.

PLACE, N., MAFULLETTI, N.A., MARTIN, A., LEPEERS, R. (2007) Assessment of the reliability of central and peripheral fatigue after sustained maximal voluntary contraction of the quadriceps muscle. **Muscle Nerve** 35:486–495.

ROSS, E. Z., GREGSON, W., WILLIAMS, K., ROBERTSON, C., GEORGE, K.(2009). Muscle contractile function and neural control after repetitive endurance cycling. **Med Sci Sports Exerc**, 42(1):206-210.

ROSS, E. Z., GOODALL, S., STEVENS, A., HARRIS, I. (2010) Time Course of Neuromuscular Changes during Running in Well-Trained Subjects. **Med Sci Sports Exerc**, 42(6):1184-1190.

ROSSATO, M., BINI, R.R., CARPES, F.P., DIEFENTHAELER, F., MORO, A.R.(2008) Cadence and workload effects on pedaling technique of well-trained cyclists. **Int J Sports Med**, 29(9):746-752.

RHEA, M.R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. **J Strength Cond Res**.18(4):918-920.

SIRI, W.E. Body composition from fluid space and density. In: Brozek J, Hanschel A, editors. Techniques for measuring body composition. Washington: National Academy of Science; 1961. p. 223-224.

St CLAIR GIBSON, A., LAMPERT, M.I. & NOAKES, T.D. (2001). Neural control of force output during maximal and submaximal exercise. **Sports Med**. 31(9): 637-650.

SKOF, B. STROJNIK, V. (2006). Neuromuscular fatigue and recovery dynamics following prolonged continuous run at anaerobic threshold. **Brit J Sports Med**, 40: 219-222.

SIDHU, S.K., BENTLEY, D.J., CARROLL, T.J. (2009) Locomotor exercise induces long lasting impairments in the capacity of the human motor cortex to voluntarily activate knee extensor muscles. **J Appl Physiol**, 106: 556–565.

TAYLOR, J.L., GANDEVIA, S.C. (2008). A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. **J Physiol Appl**, 104(2):542-550.

TAYLOR, J. R., TODD, G., GANDEVIA, S.C. (2006). Evidence for a supraspinal contribution to human muscle fatigue. **Clin Exp Pharmacol Physiol**, 33(1): 400-405.

THEUREL, J., LEPERS R. (2008). Neuromuscular fatigue is greater following highly variable versus constant intensity endurance cycling. **Eur J Appl Physiol** 103(1):461-468.

THOMAS, J. R.; NELSON, J. K. **Métodos de pesquisa em atividade física**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

VAZ, M.A.; ZHANG, Y.T.; HERZOG, W.; GUIMARÃES, A.C.S., MACINTOSH, B.R. (1996). The behavior of rectus femoris and vastus lateralis during fatigue and recovery: An electromyographic and vibromyographic study. **Electromyogr Clin Neurophysiol**, 36, 221-230.

VERGES, S., MAFFIULETTI, N.A., KERHERVE, H., DECORTE, N., WUYAM, B., MILLET, G.Y. (2009) Comparison of electrical and magnetic stimulations to assess quadriceps muscle function. **J Appl Physiol** 106: 701-710.

VOGT, S., SCHUMACHER, Y.O., ROECKER, K., DICKHUTH, H.H., SCHOBERER, U., SCHMID, A., HEINRICH, L. (2007). Power output during the Tour de France. **Int J Sports Med**, 28(9):756-761.

WELTMANN, A., SNEAD, D., STEIN, P., SEIP, R., SCHURRER, R., RUTT, WELTMAN, J. (1990) Reliability and validity of continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations, and VO₂max. **Int J Sports Med**. 11(1): 26-32.

APÊNDICE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Titulo do Projeto:

Respostas Neuromusculares, Bioquímicas e Fisiológicas de Ciclistas e Triatletas Competitivos Durante dois Protocolos Distintos de Fadiga no Ciclismo.

Você está sendo convidado a participar, como voluntário, da pesquisa intitulada:

Respostas neuromusculares, bioquímicas e fisiológicas de ciclistas e triatletas competitivos durante dois protocolos distintos de fadiga no ciclismo a ser realizada junto ao Laboratório de Esforço Físico (LAEF) e o Laboratório de Biomecânica (BioMEC), vinculado ao Centro de Desportos (CDS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A participação no estudo não envolve nenhum gasto para o participante e todos os materiais necessários serão providenciados pelos pesquisadores. Com sua adesão ao estudo, você ficará disponível para a pesquisa em algumas visitas ao CDS, com duração aproximada de 150 minutos cada.

1ª Visita - Na primeira sessão, um avaliador preencherá uma ficha com seus dados pessoais e, logo após, você realizará um teste incremental máximo no cicloergômetro (Lode Excalibur Sport PFM) para determinação do consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}), frequência cardíaca máxima (FCmax), potência máxima (PMax) e as concentrações de lactato [LAC]. Será utilizado um protocolo incremental do tipo degrau com incrementos de 30 W / 3 min até a exaustão voluntária. Ao final de cada estágio, será realizada a coleta de sangue no lóbulo da orelha para posterior mensuração do lactato sanguíneo. Esse procedimento não oferece riscos ao avaliado e todos os cuidados necessários serão tomados para a coleta de sangue. Os índices determinados neste teste são indicadores do seu condicionamento aeróbico e fornecerá importantes dados para a prescrição do seu treinamento.

2ª Visita- Na 2ª visita será realizado um teste de ciclismo que pretende simular a fadiga em uma situação real de competição. O teste terá um período longo com potência alta e constante (15 min de duração a 95% do segundo limiar de lactato, respectivamente) seguido por um *sprint* de curta duração (15 s). Após o *sprint* o teste terá períodos curtos com potência baixa e constante (5 min de duração na potência do primeiro limiar de lactato), períodos mais extensos com potência alta e constante (10min de duração a 95% do segundo limiar de lactato) intercalados com *sprints* de curta duração (15s). A FC será monitorada durante todo o teste.

3ª Visita- Na 3ª visita será realizado outro teste para analisar a fadiga em um protocolo com potência constante. Essa potência integrada no tempo acumulará um trabalho total equivalente àquele acumulado durante o PEC. Para determinação da PSE ao longo do teste foi será utilizada a escala de Borg de 15 pontos. Para determinação da PSE durante o teste, a cada 10 minutos de exercício será solicitado ao atleta que aponte na escala de Borg a sua percepção de esforço naquele momento.exaustão.

Antes e logo após os testes realizados no 2º e 3º dia de avaliação os sujeitos realizarão os testes neuromusculares para identificar à máxima ativação voluntária e o pico de torque dos músculos extensores do joelho (por meio da estimulação elétrica e as contrações voluntárias máximas) A coleta será realizada por profissionais especializados. Os riscos relacionados com a sua participação nesse procedimento se resumem a um leve desconforto de uma contração induzida eletricamente, não requerendo nenhum cuidado posterior. O exercício de contração pode causar um desconforto momentâneo gerado pela contração voluntária máxima da extensão do joelho.

Para participar deste estudo você deve estar apto para realizar exercícios físicos de alta intensidade. Da mesma forma, deve estar ciente que tem a possibilidade de apresentar náuseas e vômito em decorrência do esforço na realização do teste.

Quanto aos benefícios e vantagens em participar deste estudo, você contribuirá para o desenvolvimento da ciência, dando possibilidade a novas descobertas e ao avanço das pesquisas; além de ser informado sobre sua composição corporal e a influência da fadiga em um protocolo específico de ciclismo, e a partir do repasse do relatório individual de sua avaliação, utilizar dados para nortear seu treinamento.

As pessoas que o acompanharão serão o Prof. Dr. Fernando Diefenthaeler, o mestrando Joscelito Berneira , além de alguns colaboradores do BioMEC e o LAEF.

Salientamos, ainda, que você poderá retirar-se do estudo a qualquer momento. Do contrário, solicitamos a sua autorização para o uso de seus dados para a produção de artigos técnicos e científicos. A sua privacidade será mantida por meio da não-identificação do seu nome.

Agradecemos desde já a sua colaboração e participação.

CONTATOS:

Prof. Joscelito de Oliveira Berneira

e-mail: joberneira@gmail.com

Tel: (48) 96582293

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

TERMO DE CONSENTIMENTO

Declaro que fui informado, de forma clara e objetiva, sobre todos os procedimentos do projeto de pesquisa intitulado **Respostas neuromusculares, bioquímicas e fisiológicas de ciclistas e triatletas competitivos durante dois protocolos distintos de fadiga no ciclismo.** Estou ciente que todos os dados a meu respeito serão sigilosos e que posso me retirar do estudo a qualquer momento. Assinando este termo, eu concordo em participar deste estudo.

Nome _____ por
extenso _____

Assinatura _____

Florianópolis (SC) ____/____/____

Prof. Dr. Fernando Diefenthaeler
(Pesquisador Responsável/Orientador)

Prof. Md. Joscelito Berneira
(Pesquisador Principal/Orientando)

PARECER COMITÊ DE ÉTICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: RESPOSTAS NEUROMUSCULARES E CARDIORRESPIRATÓRIAS DE CICLISTAS E TRIATLETAS COMPETITIVOS EM UM PROTOCOLO ESPECÍFICO DE CICLISMO

Pesquisador: FERNANDO DIEFENTHAELER

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 06159212.7.0000.0121

Instituição Proponente: Universidade Federal de Santa Catarina

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 144.432

Data da Relatoria: 12/11/2012

Apresentação do Projeto:

"RESPOSTAS NEUROMUSCULARES E CARDIORRESPIRATÓRIAS DE CICLISTAS E TRIATLETAS COMPETITIVOS EM UM PROTOCOLO ESPECÍFICO DE CICLISMO". Projeto de pesquisa que tem por objetivo investigar o processo de fadiga durante um protocolo de ciclismo que simule situações reais de competição. Entendem que a fadiga é um fenômeno complexo que pode ser descrito como a incapacidade de manutenção de um determinado nível de força, causando uma redução no desempenho e podendo levar a interrupção do exercício. Múltiplos fatores envolvendo tanto o sistema nervoso como o muscular contribuem para o processo da fadiga muscular. Dentre as várias formas utilizadas para analisar esses fatores destaca-se o procedimento que separa a fadiga em duas componentes: uma central e outra periférica. O processo de fadiga muscular, seja de natureza central, periférica e/ou ambas, possui uma ampla repercussão no ciclismo, uma vez que as modificações que ocorrem na condução do estímulo nervoso e na placa motora provocam prejuízos no desempenho durante competições.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo principal é investigar o processo de fadiga durante um protocolo de ciclismo que simule situações reais de competição. Secundariamente: verificar as alterações no pico de torque dos extensores do joelho de ciclistas e triatletas treinados antes e após teste específico de ciclismo; verificar a influência da fadiga no nível de ativação voluntária dos músculos extensores do joelho de ciclistas e triatletas treinados após o teste específico; verificar a influência da fadiga no padrão de ativação dos músculos, vasto lateral, vasto

Endereço: Campus Universitário Rector João David Ferreira Lima
Bairro: Trindade CEP: 88.040-900
UF: SC Município: FLORIANÓPOLIS
Telefone: (48)3721-9208 Fax: (48)3721-9696 E-mail: cep@reitoria.ufsc.br

medial, reto femoral, cabeça longa do biceps femoral e gastrocnêmio medial durante a pedalada de ciclistas e triatletas treinados; verificar as alterações na concentração de lactato, consumo máximo de oxigênio, frequência cardíaca e percepção subjetiva de esforço de ciclistas e triatletas treinados durante teste específico de ciclismo.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os possíveis riscos são inerentes aos que sofrem qualquer ciclista, a fadiga, ficando o participante livre para desistir a qualquer momento do estudo. Como benefícios: melhor avaliação do comportamento de atletas em situações mais próximas da realidade do esporte. Além disso, fornecer informações para que, em conjunto com parâmetros fisiológicos e biomecânicos, os efeitos da fadiga sobre o desempenho sejam compreendidos. Os resultados gerados a partir do presente projeto, além de estimular a realização de novas pesquisas a cerca do assunto, irão auxiliar técnicos e atletas na elaboração de estratégias para evitar e/ou retardar o processo de fadiga durante provas de ciclismo.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata o presente de um projeto de pesquisa do Prof. Dr. Fernando Diefenthal de Departamento de Educação Física da UFSC que visa estudar o comportamento de atletas em situações mais próximas da realidade do esporte. A seleção da amostra será do tipo intencional (por conveniência) e será composta por 15 ciclistas e 15 triatletas treinados do sexo masculino que participam de competições regionais, nacionais e internacionais.

Antes do teste serão fornecidas informações detalhadas a respeito dos procedimentos e objetivos do mesmo. Todos os indivíduos assinarão um termo de consentimento concordando com sua participação voluntária na pesquisa, cientes de que poderão abandonar os testes a qualquer momento, se assim o desejarem. Projeto bem estruturado, com critérios de inclusão e exclusão bem definidos, TCLE adequado aos sujeitos da pesquisa estando portanto, de acordo com a Resolução nº196/96 e normas complementares. Recomendamos a sua aprovação.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Documentação completa.

Recomendações:

não se aplica.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

As questões levantadas pelo Colegiado foram devidamente respondidas pelo pesquisador.

Situação do Parecer:

Aprovado

Endereço: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima
Bairro: Trindade CEP: 88.040-900
UF: SC Município: FLORIANÓPOLIS
Telefone: (48)3721-9206 Fax: (48)3721-9696 E-mail: cep@reitoria.ufsc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC



Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

O Colegiado aprova o parecer do relator.

FLORIANOPOLIS, 12 de Novembro de 2012

Assinador por:

Washington Portela de Souza
(Coordenador)

Endereço: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima
Bairro: Trindade CEP: 88.045-900
UF: SC Município: FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-9208 Fax: (48)3721-9696 E-mail: csp@reitoria.ufsc.br